ISAAC NEWTON
OPTICA



ISAAC NEWTON

OPTICA

Supracoperta şi coperta de: **Ionescu Răzvan Aureliu**

ISAAC NEWTON

OPTICA

Prefață, traducere și adnotări
de
prof. VICTOR MARIAN

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA
București, 1970



Isaac Newton

PREFAȚĂ

Optica *este, în ordine cronologică, a doua operă importantă a lui I. Newton, prima fiind* Principiile matematice ale filozofiei naturale, *apărută în 1687. Deși autorul își datorește gloria științifică mai mult acesteia din urmă, nici* Optica *nu rămîne mai prejos, ambele fiind creații originale, produse ale unui geniu cum nu a mai cunoscut omenirea de la Arhimede încoace. Într-adevăr, dacă în* Principii *întîlnim marea sa descoperire din mecanică, gravitația universală,* Optica *expune rezultatele noi atît de importante pentru optică asupra analizei și proprietăților luminii și culorilor.*

În ce privește felul expunerii, între cele două lucrări se observă o mare diferență : Principiile *au un caracter mai mult matematic, cu demonstrații geometrice riguroase, greu de urmărit de cititorul de azi ;* Optica *prezintă aproape numai descrieri de experiențe însoțite de teorii asupra naturii luminii și culorilor, ceea ce are avantajul că oricine posedă o cultură generală le poate citi cu ușurință. O altă deosebire între cele două opere constă în faptul că* Principiile *sînt o lucrare bine închegată și terminată, care prezintă ultimul cuvînt al autorului în mecanică;* Optica, *dimpotrivă, este o lucrare neterminată, autorul neavînd răgazul necesar să execute experiențele ce și le propusese.*

În ce privește istoria acestei lucrări se pot spune pe scurt următoarele. Newton și-a început cariera de profesor la Universitatea din Cambridge predînd un curs de optică, pe care l-a continuat timp de aproape un deceniu. Lecțiile acestea, prin care a făcut cunoscute elevilor săi descoperirile sale de optică, avea de gînd să le tipărească, dar nu a reușit. Ele au apărut postum, sub titlul Lectiones opticae, *în latinește, în 1729.*

Fiind ales membru al Societății Regale din Londra în 1672, Newton a început să-și comunice în ședințele acesteia atît experiențele de optică, cît și teoria sa asupra luminii și culorilor. Criticile ce i s-au

adus de către unii fizicieni, mai ales de către colegul său Robert Hooke, l-au amărît atît de mult, încît nu a mai publicat nimic din această parte a fizicii cît timp a trăit acest înverșunat adversar al teoriilor sale. După moartea lui Hooke în 1703, Newton, la insistența prietenilor săi, s-a decis să-și publice lucrarea pe care o pregătise.

Optica *a apărut mai întîi în limba engleză, sub titlul* Optics: or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light, *în 1704. Volumul mai cuprindea două lucrări de matematică ale autorului, și anume* Enumeratio linearum tertii ordinis și Tractatus de quadratura curvarum*.

Samuel Clarke, prieten al lui Newton, a scos în 1706 o traducere latinească avînd titlul Optice, sive de reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus lucis. *A doua ediție engleză a cărții a văzut lumina tiparului în 1717. Aici cele două lucrări de matematică au fost înlocuite cu celebrele* Queries *(Probleme), în care problemele nelămurite ale fizicii sînt tratate mai mult din punct de vedere filozofic. În 1719 apare a doua ediție latinească, urmată în 1721 de a treia ediție engleză. În fine, în 1730 apare postum ediția a patra engleză, pe care o revăzuse Newton.*

Lucrarea de față este prima traducere românească a acestei opere, făcută după ediția din 1730. Textul definitiv l-am stabilit după compararea cu traducerea franceză a lui Costes, Traité d'Optique, *din 1720, și cu cea germană a lui W. Abendroth, în două volume, din 1898.*

Portretul de la începutul volumului se datorește pictorului Kneller și-l reprezintă pe Newton la vremea cînd se ocupa cu problemele de optică. Am pus și o fotocopie a foii de titlu a primei ediții a Opticii, *din cauza importanței sale documentare. Figurile din text le-am reprodus fidel după cele originale, iar planșele au fost împrumutate din* The Correspondence of Isaac Newton, *editată de H. W. Turnbull și îngrijită de Societatea Regală, volumul I, 1959; mulțumim editurii Cambridge University Press, pentru permisiunea dată la reproducerea acestor planșe.*

---

* *Enumerarea curbelor de ordinul al III-lea și Tratat despre cuadratura curbelor.*

Nici o ediție a Opticii *lui Newton nu are tablă de materii, de aceea se impune aici un scurt rezumat al cuprinsului ei. Opera e împărțită în trei Cărți.*

Cartea întîi începe cu o expunere succintă a cunoștințelor de optică din timpul autorului, după care urmează descrierea experiențelor sale proprii asupra reflexiei, refracției și dispersiei luminii. De asemenea descrie telescopul cu reflexie, inventat și construit de Newton.

Cartea a doua se ocupă cu culorile lamelor subțiri transparente, cu culorile naturale ale corpurilor și ale plăcilor groase.

Cartea a treia descrie experiențele lui Newton asupra difracției luminii. Considerînd că experiențele sale nu sînt complete și consecințele trase din ele nu sînt cu totul convingătoare, el pune la sfîrșit un număr de 32 de probleme „pentru ca cercetările să fie continuate de alții".

În sfîrșit, menționez că am pus și cîteva adnotări necesare precizării textului, cuprinzînd fie trimiteri bibliografice, fie redarea în românește a expresiilor latinești folosite de autor sau mici observații lămuritoare.

Cluj, 14 iulie 1969 VICTOR MARIAN

Avertismentele lui sir Isaac Newton

INTRODUCERE I

O parte a tratatului despre lumină aici de față a fost scrisă, la dorința unor membri ai Societății Regale în 1675, apoi trimisă Secretarului ei și citită în ședințe, iar restul a fost adăugat după vreo doisprezece ani pentru a completa teoria, cu excepția cărții a treia și a ultimei propoziții a cărții a doua, care au fost strînse din diverse hîrtii disparate. Pentru a evita angajarea în dispute în legătură cu subiectele tratate, am amînat pînă acum tipărirea și aș mai fi amînat-o încă dacă nu m-ar fi determinat îndemnurile prietenilor. Dacă alte scrieri asupra acestui subiect ieșite din mîinile mele sînt imperfecte, ele au fost scrise, poate, înainte ca eu să fi încercat toate experiențele descrise acolo și de a mă fi satisfăcut complet pe mine însumi în ce privește legile refracției și compunerea culorilor. Aici am publicat ceea ce consider potrivit să fie cunoscut, dorind ca acestea să nu fie traduse în alte limbi fără consimțămîntul meu.

Am încercat să explic inelele colorate care apar uneori în jurul Soarelui și al Lunii, dar din lipsă de observații suficiente rămîne ca această materie să mai fie examinată. Subiectul cărții a treia de asemenea l-am lăsat imperfect, nefăcînd toate experiențele pe care intenționam să le fac cînd am tratat această materie, nici nu am repetat unele dintre acelea pe care le-am încercat, așa încît să fiu satisfăcut eu însumi cu toate condițiile în care se desfășoară ele. Singurul meu scop în publicarea acestor scrieri este să comunic ce am experimentat eu însumi și las restul altora pentru cercetări ulterioare.

Într-o scrisoare adresată d-lui Leibnitz în 1679, și publicată de d-rul Wallis am menționat o metodă prin care am găsit cîteva teoreme generale privitoare la cvadratura figurilor curbilinii sau compararea lor cu secțiunile conice sau cu alte figuri mai simple cu care pot fi comparate. Acum cîțiva ani am redactat un manuscris cuprinzînd astfel de teoreme și, copiind cîteva lucruri din el, le-am publicat cu această ocazie, punînd înainte o introducere și anexînd o notă explicativă privitoare la această metodă. I-am alăturat un

alt mic tratat privitor la figurile curbilinii de ordinul al doilea, care de asemenea a fost scris cu cîțiva ani în urmă, și a fost făcut cunoscut cîtorva prieteni care au solicitat publicarea lui.

I. N.

1 aprilie 1704

INTRODUCERE II

În această a doua ediție a *Opticii* am suprimat tratatele matematice publicate la sfîrșitul ediției anterioare ca neaparținînd subiectului. La sfîrșitul cărții a treia am adăugat cîteva probleme. Pentru a arăta că eu nu consider gravitația ca o proprietate esențială a corpurilor, am adăugat o problemă privitoare la cauza ei, căutînd s-o pun sub formă de problemă, deoarece pînă acum nu sînt mulțumit de ea din lipsă de experiențe.

I. N.

16 iulie 1717

INTRODUCERE LA EDIȚIA A PATRA

Această nouă ediție a *Opticii* lui sir Isaac Newton este tipărită cu îngrijire după ediția a treia, cum a fost corectată de mîna autorului însuși și lăsată înaintea morții sale la librar. Deoarece *Lectiones opticae* ale lui sir Isaac, pe care le-a ținut în mod public la Universitatea din Cambridge în 1669, 1670 și 1671, au fost tipărite postum, s-a crezut potrivit să se pună în josul paginilor mai multe citate din acestea unde pot fi găsite demonstrațiile pe care autorul le-a suprimat în această *Optică*.

OPTICKS:

OR A

TREATISE

OF THE

REFLEXIONS, REFRACTIONS, INFLEXIONS and COLOURS

OF

LIGHT.

ALSO

Two TREATISES

OF THE

SPECIES and MAGNITUDE

OF

Curvilinear Figures.

LONDON,
Printed for SAM. SMITH, and BENJ. WALFORD Printers to the Royal Society, at the *Prince's Arms* in St. *Paul's* Church-yard. MDCCIV.

Planşa I. Coperta interioară a ediţiei din 1704

Cartea întîi
a
OPTICII

PARTEA I

Intenţia mea în această Carte nu este de a explica proprietăţile luminii prin ipoteze, ci de a le expune şi demonstra cu ajutorul raţionamentelor şi al experienţelor. În acest scop voi enunţa următoarele definiţii şi axiome.

DEFINIŢII

DEFINIŢIA I

Prin raze de lumină înţeleg părţile ei cele mai mici, şi anume atît succesiv în aceleaşi linii, cît şi simultan în diverse linii. Într-adevăr, este evident că lumina constă din părţi, atît succesive, cît şi simultane; în acelaşi loc puteţi opri ceea ce vine la un moment dat şi lăsa să treacă ceea ce vine imediat după aceasta; în acelaşi timp o puteţi opri în orice loc şi lăsa să treacă în oricare altul. Căci partea luminii care e oprită nu poate fi aceeaşi cu cea care e lăsată să treacă. Cea mai mică lumină sau parte de lumină care poate fi oprită singură fără restul luminii sau care se poate propaga singură ori poate provoca sau suferi singură ceva ce nu realizează sau nu suferă restul luminii eu o numesc rază de lumină.

DEFINIŢIA II

Refrangibilitatea razelor de lumină este aptitudinea lor de a fi refractate sau deviate din drumul lor trecînd dintr-un corp sau mediu

transparent în altul. O refrangibilitate mai mare sau mai mică a razelor este determinată de aptitudinea lor de a fi deviate mai mult sau mai puțin din drumul lor la incidențe identice în același mediu. Matematicienii de obicei consideră razele de lumină ca linii ce se întind de la corpul luminos pînă la corpul luminat, iar refracția acestor raze ca fiind îndoirea sau frîngerea acestor linii la trecerea lor dintr-un mediu în altul. Și desigur că razele și refracțiile ar putea fi considerate în felul acesta dacă lumina s-ar propaga instantaneu. Dar, considerînd argumentația bazată pe ecuațiile timpurilor eclipselor *sateliților lui Jupiter*, se pare că lumina se propagă în timp, stabilind distanța de la Soare pînă la noi în aproximativ șapte minute. De aceea am preferat să definesc razele și refracțiile în termeni atît de generali, încît să se potrivească pentru lumină în ambele cazuri.

DEFINIȚIA III

Reflexibilitatea razelor este aptitudinea lor de a fi reflectate sau întoarse înapoi în același mediu de un alt mediu pe suprafața căreia cad. Razele sînt mai mult sau mai puțin reflexibile, în funcție de faptul că sînt întoarse înapoi mai ușor sau mai greu. Dacă lumina trece din sticlă în aer și este înclinată din ce în ce mai mult spre suprafața comună a sticlei și a aerului, ea începe să fie total reflectată de acea suprafață; tipurile de raze care pentru aceeași incidență sînt reflectate mai mult sau care prin înclinare încep mai repede să fie reflectate total sînt mai reflexibile.

DEFINIȚIA IV

Unghiul de incidență este unghiul pe care îl formează linia descrisă de raza incidentă cu perpendiculara la suprafața de reflexie sau de refracție în punctul de incidență.

DEFINIȚIA V

Unghiul de reflexie sau de refracție este unghiul format de linia descrisă de raza reflectată sau refractată cu perpendiculara la suprafața de reflexie sau de refracție în punctul de incidență.

DEFINIȚIA VI

Sinusurile de incidență, de reflexie și de refracție sînt sinusurile unghiurilor de incidență, de reflexie și de refracție.

DEFINIȚIA VII

Lumina ale cărei raze sînt toate la fel de refrangibile eu o numesc simplă, omogenă și similară, iar aceea a cărei raze sînt unele mai refrangibile decît altele, o numesc compusă, eterogenă și disimilară. Lumina de primul tip o numesc omogenă, nu fiindcă ea este astfel în toate privințele, ci fiindcă razele care se potrivesc ca refrangibilitate se potrivesc cel puțin și în celelalte proprietăți pe care le examinez în tratatul de față.

DEFINIȚIA VIII

Culorile luminii omogene eu le numesc primare, omogene și simple, iar pe cele ale luminii eterogene le numesc eterogene și compuse, fiindcă acestea sînt întotdeauna compuse din culorile luminii omogene, după cum se va vedea în tratatul ce urmează.

AXIOME

AXIOMA I

Unghiurile de reflexie și de refracție se găsesc în același plan cu unghiul de incidență.

AXIOMA II

Unghiul de reflexie este egal cu unghiul de incidență.

AXIOMA III

Dacă raza refractată este întoarsă înapoi direct la punctul de incidență, ea va fi refractată pe linia descrisă mai înainte de raza incidentă.

AXIOMA IV

Refracția dintr-un mediu mai rar într-unul mai dens se face înspre perpendiculară, adică în așa fel încît unghiul de refracție să fie mai mic decît unghiul de incidență.

AXIOMA V

Sinusul unghiului de incidență se află într-un anumit raport, fie exact, fie foarte apropiat, cu sinusul unghiului de refracție.

Prin urmare, dacă se cunoaște acest raport pentru o înclinație a razei incidente, el se cunoaște pentru toate înclinațiile și în acest fel poate fi determinată refracția în toate cazurile de incidență pe același corp refringent. Astfel, dacă refracția are loc din aer în apă, sinusul de incidență al luminii roșii către sinusul ei de refracție se află în raportul 4/3. Dacă refracția are loc din aer în sticlă, sinusurile sînt în raportul 17/11. Pentru lumina de alte culori, sinusurile au alte rapoarte, dar diferența este atît de mică, încît rareori trebuie să fie luată în considerare.

Fig. 1

Presupun deci că RS (fig. 1) reprezintă suprafața apei liniștite și că C este punctul de incidență în care orice rază venind în aer de la A pe linia AC este reflectată sau refractată; aș vrea să știu încotro va merge această rază după reflexie sau refracție. Atunci ridic pe suprafața apei din punctul de incidență perpendiculara CP și o prelungesc în jos pînă în Q; conchid, conform primei axiome, că raza după reflexie și refracție se va găsi undeva în planul unghiului de incidență ACP prelungit. Prin urmare, las să cadă pe perpendiculara CP sinusul de incidență AD; dacă vreau să aflu raza reflectată, prelungesc pe AD pînă în B, astfel ca DB să fie egală cu AD, și trasez CB. Într-adevăr. linia CB va fi raza reflectată, unghiul de reflexie BCP și sinusul lui BD fiind egale cu unghiul și sinusul de incidență, conform axiomei a doua. Dacă se cere raza refractată, prelungesc

pe AD în H, astfel ca DH să se raporteze la AD ca sinusul de refracție către sinusul de incidență, adică (dacă lumina este roșie) ca 3 la 4; din centrul C și în planul ACP cu raza CA, descriind cercul ABE, duc o paralelă la perpendiculara CPQ, linia HE tăind circumferința în E, și, unind C cu E, linia CE va fi linia razei refractate. Căci, dacă EF cade perpendicular pe linia PQ, linia EF va fi sinusul de refracție al razei CE, unghiul de refracție fiind ECQ; sinusul EF este egal cu DH și, în consecință, în raport cu sinusul de incidență AD ca 3 la 4.

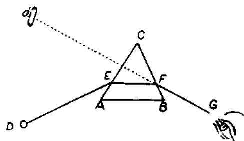


Fig. 2

La fel, dacă avem o prismă de sticlă (adică o sticlă mărginită la capete de două fețe triunghiulare egale și paralele, avînd trei fețe laterale plane și bine șlefuite care se întîlnesc de-a lungul celor trei linii paralele ce pornesc din cele trei unghiuri ale feței de la un capăt la cele trei unghiuri ale celeilalte fețe de la celălalt capăt) și dacă se cere refracția luminii care traversează această prismă, atunci fie ACB în figura 2 un plan care taie prisma transversal pe cele trei linii paralele sau muchii în locul unde lumina trece prin ea și fie DE raza incidentă pe prima față AC a prismei pe unde lumina intră în sticlă; punînd raportul sinusului de incidență către sinusul de refracție 17/11, obținem prima rază refractată EF. Apoi, luînd această rază ca rază incidentă pe a doua față BC a sticlei unde lumina iese afară, obținem următoarea rază refractată FG, punînd raportul sinusului de incidență către sinusul de refracție 11/17. Prin urmare, dacă sinusul de incidență din aer în sticlă către sinusul de refracție este 17/11, atunci sinusul de incidență din sticlă în aer către sinusul de refracție, dimpotrivă, trebuie să fie 11/17, conform axiomei a treia.

În același fel, dacă $ACBD$ reprezintă în figura 3 o sticlă avînd ambele fețe sferice convexe (în mod obișnuit numită *lentilă*, așa cum

este lupa sau sticla de ochelari sau un obiectiv de telescop) şi dacă vrem să ştim cum se refractă lumina care vine din punctul luminos Q şi cade pe ea, atunci fie QM o rază ce cade într-un punct M al primei ei suprafeţe sferice ACB şi, ridicînd o perpendiculară la sticlă în punctul M, găsim prima rază refractată MN din raportul sinusurilor de 17/11. Fie raza ce iese din sticlă incidentă în N; atunci găsim

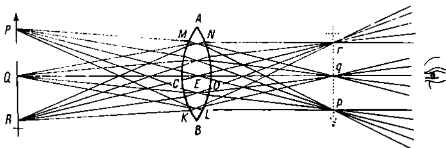


Fig. 3

a doua rază refractată Nq din raportul sinusurilor de 11/17. În acelaşi fel putem găsi refracţia cînd lentila are o faţă convexă, iar cealaltă plană sau concavă ori ambele feţe concave.

AXIOMA VI

Razele omogene care vin din diferite puncte ale unui obiect şi cad perpendicular sau aproape perpendicular pe un plan reflectator sau refractator ori pe o suprafaţă sferică vor devia din tot atîtea puncte sau vor fi paralele la atîtea linii ori vor converge spre tot atîtea puncte fie exact, fie fără vreo eroare apreciabilă. Acelaşi lucru se va întîmpla dacă razele vor fi reflectate sau refractate succesiv de două, de trei sau de mai multe plane sau suprafeţe sferice.

Punctul din care diverg sau converg razele poate fi numit *focarul* lor. Focarul razelor incidente fiind dat, se poate găsi şi acela al mai multor raze reflectate sau refractate prin aflarea refracţiei oricăror două raze, ca mai sus, sau mai degrabă astfel :

Cazul I. Fie ACB(fig. 4) un plan reflectator sau refractator şi Q focarul razelor incidente, iar QqC o perpendiculară la acest plan. Dacă se prelungeşte această perpendiculară pînă în q astfel ca qC să fie egală cu QC, punctul q va fi focarul razelor reflectate sau, dacă

se ia qC de aceeași parte a planului cu QC și în raport cu QC ca sinusul de incidență către sinusul de refracție, punctul q va fi focarul razelor refractate.

Cazul II. Fie ACB (fig. 5) suprafața reflectatoare a unei sfere al cărei centru este E. Înjumătățiți o rază oarecare a acesteia (de exemplu EC) în T și, dacă luați pe această rază punctele Q și q

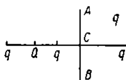


Fig. 4

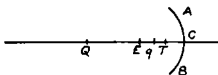


Fig. 5

de aceeași parte a punctului T astfel ca TQ, TE și Tq să fie continuu* proporționale, iar punctul Q focarul razelor incidente, punctul q va fi focarul celor reflectate.

Cazul III. Fie ACB (fig. 6) suprafața refractatoare a unei sfere al cărei centru este E. Pe o rază oarecare EC a acesteia, prelungită de ambele părți, luați ET și Ct egale între ele și avînd fiecare același raport către rază pe care-l are cel mai mic dintre sinusurile

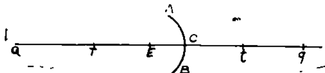


Fig. 6

de incidență sau de refracție către diferența acestor sinusuri. Apoi, dacă pe aceeași linie găsiți alte două puncte Q și q astfel ca TQ să fie către ET ca Et către tq, luînd tq de partea opusă lui t decît se află TQ față de T, și dacă punctul Q este focarul unor raze incidente, punctul q va fi focarul celor refractate.

În același fel se poate găsi focarul razelor după două sau mai multe reflexii sau refracții.

---

* $\frac{TQ}{TE} = \frac{TE}{Tq}$.

Cazul IV. Fie *ACBD* (fig. 7) o lentilă refractatoare avînd oricare parte sferic convexă, concavă sau plană și fie *CD* axa ei (adică linia care taie perpendicular ambele ei suprafețe și trece prin centrele sferelor). Pe această axă prelungită fie *F* și *f* focarele razelor refractate găsite ca mai sus, cînd razele incidente de ambele părți ale lentilei sînt paralele la aceeași axă; se descrie un cerc pe diametrul *Ff* înju-

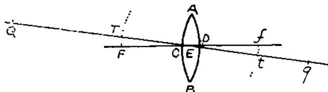


Fig. 7

mătățit în *E*. Presupuneți acum că un punct oarecare *Q* este focarul unor raze incidente. Trasați *QE* care taie cercul amintit în *T* și *t* și luați acolo *tq* în același raport către *tE* ca *tE* sau *TE* către *TQ*. Fie *tq* situat în sens contrar față de *t* decît este *TQ* față de *T*; atunci *q* va fi focarul razelor refractate fără nici o eroare apreciabilă, cu condiția ca punctul *Q* să nu fie departe de axă, nici lentila atît de groasă ca să facă unele raze să cadă oblic pe suprafețele refractatoare*.

Prin operații asemănătoare se pot afla suprafețele reflectatoare sau refractatoare cînd sînt date cele două focare și astfel se formează o lentilă care va face razele să cadă spre sau să vină din locul care vă place**

Deci sensul acestei axiome este că, dacă razele cad pe o suprafață plană sau sferică ori pe o lentilă și înaintea incidenței lor ele vin sau merg spre un punct oarecare *Q*, după reflexie sau refracție vor veni sau vor merge de la sau spre punctul *q* conform regulelor precedente. Dacă razele incidente vin de la sau merg spre mai multe puncte *Q*, razele reflectate sau refractate vor veni de la sau vor merge spre tot atîtea puncte *q* găsite după aceleași reguli. Se află ușor dacă razele reflectate sau refractate vin de la sau merg spre punctul *q* tocmai din poziția acelui punct. Într-adevăr, dacă acest punct este, ca și punctul *Q*, de aceeași parte a suprafeței reflectatoare sau refractatoare ori a lentilei și razele incidente vin din punctul *Q*, atunci cele reflectate merg spre punctul *q*, iar cele refractate de la el; dacă razele

* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secț. IV, propoziția 29, 30.
** Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secț. IV, prop 34.

incidente merg spre Q, cele reflectate merg de la q, iar cele refractate spre el. Totul se întîmplă invers cînd q este de cealaltă parte a suprafeței.

AXIOMA VII

Ori de cîte ori razele care vin din toate punctele vreunui obiect se întîlnesc din nou în tot atîtea puncte după ce au fost făcute convergente prin reflexie sau refracție, vor forma o imagine a obiectului pe orice corp alb pe care cad.

Astfel, dacă PR (fig. 3) reprezintă un obiect din exterior și AB este o lentilă așezată în dreptul unui orificiu făcut în oblonul unei camere întunecate prin care razele care vin de la un punct Q al acelui obiect sînt făcute convergente și se întîlnesc iarăși în punctul q și dacă se ține o foaie de hîrtie albă în q pentru ca acolo lumina să cadă pe ea, imaginea acelui obiect PR va apărea pe hîrtie în forma și culorile proprii. Într-adevăr, după cum lumina care vine de la punctul Q merge spre punctul q, la fel lumina care vine de la alte puncte P și R ale obiectului vor merge la tot atîtea puncte corespunzătoare p și r (după cum ne arată axioma VI), astfel că fiecare punct al obiectului va lumina un punct corespunzător al imaginii și astfel se obține o imagine asemănătoare obiectului ca formă și culoare, cu singura deosebire că imaginea va fi inversă. Aceasta e baza experienței cunoscute pentru a obține imaginea unui obiect din exterior pe un perete sau pe o foaie de hîrtie albă într-o cameră întunecată.

La fel, cînd un om privește un obiect PQR (fig. 8), lumina care vine din diferite puncte ale obiectului este astfel refractată de învelișurile și de umorile transparente ale ochiului (adică de învelișul extern EFG, numit *tunica cornea** și de umoarea cristalină AB care este dincolo de pupila mk, încît converge și se întîlnește iarăși în tot atîtea puncte în fundul ochiului și acolo dă imaginea obiectului pe acest înveliș (numit *tunica retina***) cu care e acoperit fundul ochiului. Pentru anatomiști, dacă au îndepărtat de pe fundul ochiului acel înveliș exterior și pe cel mai gros, numit *dura mater* ***, pot să vadă prin învelișurile mai subțiri imaginile obiectelor formate pe ele. Aceste imagini, propagate prin mișcarea de-a lungul fibrelor nervilor optici

* corneea.
** retina.
*** sclerotica.

pînă la creier, sînt cauza vederii. Fiindcă, după cum aceste imagini sînt perfecte sau imperfecte, obiectul apare perfect sau imperfect. Dacă ochiul este colorat de vreo culoare (ca la boala lui *Jaundice**), astfel ca să coloreze imaginile din fundul ochiului cu acea culoare, atunci toate obiectele par a fi colorate cu aceeaşi culoare. Dacă umorile ochiului la o vîrstă înaintată se alterează, astfel că la contracţie fac să devină *corneea* şi învelişul *umorii cristaline* mai plate decît înainte, lumina nu va fi refractată suficient şi, în lipsa unei

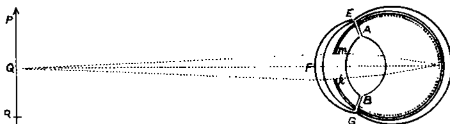


Fig. 8

refracţii suficiente, nu va converge în fundul ochiului, ci undeva înapoia lui, şi, în consecinţă, va forma în fundul ochiului o imagine confuză şi, datorită neclarităţii imaginii, obiectul va apărea confuz. Aceasta este cauza slăbirii vederii la bătrîni şi indică de ce vederea lor este corijată de ochelari. Deoarece lentilele convexe corectează lipsa curburii ochiului, şi prin mărirea refracţiei fac ca razele să conveargă mai repede, astfel că se strîng în puncte distincte în fundul ochiului dacă lentila are un grad potrivit de convexitate. La miopi, ai căror ochi sînt prea bombaţi, se întîmplă invers. Deoarece refracţia este acum prea mare, razele converg şi se adună în ochi înainte de a ajunge în fund, şi de aceea imaginea formată în fund şi vederea determinată în acest fel nu va fi distinctă decît atunci cînd obiectul se aduce atît de aproape de ochi încît locul în care se adună razele convergente poate fi depărtat pînă în fund sau dacă curbura ochiului ar fi înlăturată şi refracţiile micşorate cu ajutorul unei lentile concave datorită gradului ei de concavitate, ori, în fine, cu vîrsta, cînd ochiul devine mai plat şi capătă forma normală. Într-adevăr, miopii văd mai bine obiectele depărtate la bătrîneţe şi de aceea se spune că ei au ochii cei mai persistenţi.

---

* icter.

AXIOMA VIII

Un obiect privit prin reflexie sau refracţie apare în locul din care diverg razele după ultima lor reflexie sau refracţie căzînd pe ochiul observatorului.

Dacă un obiect *A* (fig. 9) este privit prin reflexie într-o oglindă *mn*, el nu va apărea în locul unde se află de fapt *A*, ci în spatele oglinzii în *a*, de la care razele *AB*, *AC*, *AD*, care vin din unul şi acelaşi

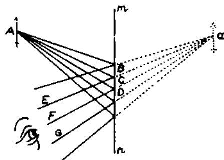


Fig. 9

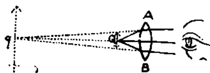


Fig. 10

punct al obiectului, obţinute după reflexia din punctele *B*, *C*, *D*, diverg mergînd de la lentilă în *E*, *F*, *G*, unde ajung în ochii observatorului. Într-adevăr, razele formează aceeaşi imagine în fundul ochilor ca şi cînd ar veni de la obiectul aşezat de fapt în *a* şi n-ar exista interpunerea oglinzii; întreaga vedere se face corespunzător locului şi formei imaginii.

În acelaşi fel, obiectul *D* (fig. 2), privit printr-o prismă, nu apare în locul său adevărat *D*, ci transpus de acolo într-un alt loc *d*, situat pe ultima rază refractată *FG*, prelungită înapoi din *F* în *d*.

La fel, obiectul *Q* (fig. 10), privit prin lentila *AB*, apare în locul *q*, din care diverg razele la trecerea lor de la lentilă la ochi. Notăm că imaginea obiectului în *q* este cu atît mai mare sau mai mică decît obiectul însuşi în *Q*, cu cît distanţa imaginii în *q* de la lentila *AB* este mai mare sau mai mică decît distanţa obiectului în *Q* de la aceeaşi lentilă. Dacă obiectul este privit prin două sau mai multe lentile convexe sau concave, fiecare lentilă va forma o imagine nouă,

iar obiectul va apărea în locul şi de mărimea ultimei imagini. Pe aceste considerații se sprijină teoria microscoapelor şi a telescoapelor. De fapt teoria aproape că nu constă în altceva decît în descrierea unor astfel de lentile care fac ultima imagine a unui obiect oarecare să fie cît mai distinctă, largă şi luminoasă cu putință.

În axiome şi explicarea lor am dat rezultatul a ceea ce a fost tratat pînă acum în optică. Mă mulțumesc ca cele ce au fost admise în general, să le cuprind sub noțiunea de principii, față de ceea ce am să scriu de aici înainte. Aceasta poate fi suficient pentru a introduce în optică pe cititorii ageri la minte şi inteligenți, dar neinițiați. Iar cei care sînt deja familiarizați cu această ştiință şi au mînuit sticle* vor înțelege mai uşor ceea ce urmează.

PROPOZIŢII

PROPOZIŢIA I. TEOREMA I

Razele de lumină care diferă prin culoare diferă şi prin gradele de refrangibilitate.

Proba experimentală

Experiența 1. Am luat o bucată de hîrtie neagră, tare, lunguiață şi mărginită de muchii paralele şi am împărțit-o printr-o linie dreaptă perpendiculară de la un capăt la celălalt în două părți egale. Una dintre aceste părți am colorat-o în roşu, iar cealaltă în albastru. Hîrtia era foarte neagră, iar culorile vii şi trase gros, astfel ca fenomenul să poată fi mai evident. Am privit această hîrtie printr-o prismă de sticlă, masivă, la care ambele fețe prin care trecea lumina spre ochi erau plane şi bine şlefuite şi făcînd între ele un unghi de aproximativ 60°, unghi pe care eu îl numesc unghiul de refracție al prismei. În timp ce priveam, țineam hîrtia şi prisma în fața unei ferestre în aşa fel că marginile hîrtiei erau paralele cu prisma şi atît marginea, cît şi prisma erau paralele cu orizontul, iar linia de secțiune de asemenea era paralelă cu el; lumina care cădea de la fereastră pe hîrtie făcea cu hîrtia un unghi egal cu unghiul făcut de aceeaşi

* Newton se referă la mînuirea aparatelor optice cunoscute în timpul său : oglinzi, lentile, microscoape şi telescoape.

hîrtie cu lumina reflectată la ochi. Dincolo de prismă, peretele camerei sub fereastră a fost acoperit cu draperie neagră, iar draperia cuprinsă în întuneric, astfel ca de la ea să nu se poată reflecta nici o rază de lumină care, trecînd pe la marginile bucăţii de hîrtie spre ochi, să se poată amesteca cu lumina bucăţii de hîrtie şi să facă confuz fenomenul. Acestea fiind puse la punct, am găsit că, dacă unghiul de refracţie al prismei este întors în sus, astfel ca bucata de hîrtie să poată apărea ridicată prin refracţie, jumătatea albastră va apărea mai ridicată datorită refracţiei decît jumătatea roşie. Dar dacă unghiul de refracţie al prismei este întors în jos, astfel ca bucata de hîrtie să apară deplasată în jos prin refracţie, atunci jumătatea albastră va fi deplasată ceva mai jos decît jumătatea roşie. În consecinţă, în ambele cazuri, lumina care vine prin prismă la ochi de la jumătatea albastră a hîrtiei suferă în aceleaşi condiţii o refracţie mai mare decît lumina care vine de la jumătatea roşie, şi, prin urmare, este mai refrangibilă.

Explicaţie. În figura 11, *MN* reprezintă fereastra, *DE* bucata de hîrtie terminată cu marginile paralele *DJ* şi *HE* şi prin linia transversală *FG* ea este împărţită în două jumătăţi, una *DG*, de un albastru intens, şi alta *FE*, de un roşu intens. *BACcab* reprezintă prisma ale cărei plane de refracţii *ABba* şi *ACca* se întîlnesc în muchia unghiului de refracţie *Aa*. Această muchie *Aa*, fiind situată în sus, este paralelă atît cu orizontul, cît şi cu muchiile paralele ale hîrtiei *DJ* şi *HE*, iar linia transversală *FG* este perpendiculară pe planul ferestrei; *de* reprezintă imaginea hîrtiei văzută prin refracţia de sus, în aşa fel încît jumătatea albastră *DG* e ridicată mai sus spre *dg* decît jumătatea roşie *FE* spre *fe* şi, prin urmare, suferă o refracţie mai mare. Dacă muchia unghiului de refracţie este întoarsă în jos, imaginea hîrtiei va fi refractată în jos, presupunem spre $\delta\varepsilon$, iar jumătatea albastră va fi refractată mai jos spre $\delta\gamma$ decît este jumătatea roşie spre $\varphi\varepsilon$.

Experienţa 2. În jurul hîrtiei sus-amintită cu cele două jumătăţi colorate în roşu şi albastru şi care era asemenea unui carton subţire tare, am înfăşurat de cîteva ori un fir subţire de mătase foarte neagră, în aşa fel ca diferitele părţi ale firului să poată apărea pe culori asemenea unor linii negre trasate deasupra lor ca nişte umbre lungi şi subţiri proiectate pe ele. Aş fi putut trasa linii negre cu o peniţă, dar firele erau mai subţiri şi mai bine definite. Hîrtia astfel colorată şi liniată am aşezat-o pe un perete perpendicular pe orizont, astfel ca una dintre culori să fie la dreapta, iar cealaltă la stînga. Imediat în faţa hîrtiei, la marginea de jos a culorilor, am aşezat o

luminare ca să lumineze intens hîrtia, deoarece experienţa s-a făcut noaptea. Flacăra luminării ajungea pînă la marginea de jos a hîrtiei sau cu ceva mai sus. Apoi, la o distanţă de şase picioare* şi unul sau doi inch** de hîrtie, am aşezat pe podea o lentilă de sticlă de patru inch şi un sfert, care putea aduna razele venind din diferite puncte ale

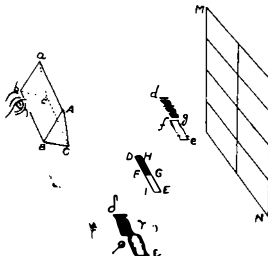


Fig. 11

hîrtiei şi făcea să conveargă spre tot atîtea puncte şi la aceeaşi distanţă de şase picioare şi unul sau doi inch de cealaltă parte a lentilei şi să formeze imaginea hîrtiei colorate pe o hîrtie albă aşezată acolo, la fel cum o lentilă montată în orificiul unui oblon proiectează imaginile obiectelor exterioare pe o bucată de hîrtie într-o cameră obscură. Hîrtia albă sus-amintită, aşezată perpendicular pe orizont şi pe razele care vin de la lentilă şi cad pe ea, uneori am apropiat-o de lentilă, alteori am îndepărtat-o de ea, ca să găsesc locurile în care imaginile părţilor albastru şi roşu ale hîrtiei colorate apar mai dis-

* Unitate de măsură pentru lungime egală cu 0,3018 m; se mai utilizează în Anglia şi America.

** Unitate veche de măsură pentru lungime egală cu 25,4 mm; mai poartă denumirea de ţol sau deget.

tinct. Am găsit ușor aceste locuri cu ajutorul imaginilor liniilor negre, pe care le-am realizat înfășurînd mătasea în jurul hîrtiei. Căci imaginile acestor linii fine și subțiri (care din cauza întunecimii apăreau ca umbre pe culori) erau confuze și abia vizibile atunci cînd culorile de fiecare parte a liniilor nu aveau margini distincte. Observînd cu multă atenție locurile în care imaginile jumătăților roșii și albastre ale hîrtiei colorate apăreau mai distincte, am găsit că, acolo unde jumătatea roșie a hîrtiei apărea clară, jumătatea albastră apărea confuză, astfel că liniile negre trasate pe ea nu puteau fi văzute clar, și, dimpotrivă, acolo unde jumătatea albastră apărea mai clară, jumătatea roșie apărea mai confuză, astfel că liniile negre pe ea erau abia vizibile. Între cele două locuri în care imaginile apăreau distincte era o distanță de un inch și jumătate, distanța hîrtiei albe de la lentilă, cînd imaginea jumătății roșii a hîrtiei colorate apărea cel mai clar, fiind mai mare cu un inch și jumătate decît distanța pînă la lentilă a aceleiași hîrtii albe, cînd imaginea jumătății albastre apărea cel mai clar. Prin urmare, la incidențe egale ale culorilor albastră și roșie pe lentilă, albastrul era refractat mai mult de lentilă decît roșul, astfel încît convergea cu un inch și jumătate mai mult și de aceea este mai refrangibil.

Explicație. În figura 12, *DE* reprezintă hîrtia colorată, *DG* jumătatea albastră, *FE* jumătatea roșie, *MN* lentila, *HI* hîrtia albă în locul în care jumătatea roșie cu liniile ei negre apare clar și *hi* aceeași hîrtie în locul în care jumătatea albastră apare clar. Poziția *hi* era mai aproape de lentila *MN* decît poziția *HI* cu un inch și jumătate.

Observație. Același lucru se întîmplă chiar și atunci cînd anumite condiții nu mai sînt aceleași ca în prima experiență, cînd prisma și hîrtia sînt puțin înclinate față de orizont și de asemenea în ambele cînd liniile colorate sînt trasate pe hîrtia foarte neagră. Dar în descrierea acestor experiențe am înfățișat condițiile în care un fenomen sau poate fi redat mai evident, sau poate fi experimentat mai ușor de către un începător ori în care eu însumi l-am experimentat. Același lucru l-am făcut adesea în experiențele următoare; relativ la toate acestea este de ajuns această singură remarcă. Din aceste experiențe nu rezultă că toată lumina din albastru e mai refrangibilă decît toată lumina din roșu, căci ambele lumini sînt amestecuri ale razelor de refrangibilitate diferită, astfel că în roșu sînt unele raze nu mai puțin refrangibile decît acelea din albastru, iar în albastru unele raze nu sînt cu mult mai refrangibile decît cele din roșu, dar

aceste raze în raport cu întreaga lumină sînt totuşi puţine şi pot doar diminua reuşita experienţei, dar nu sînt capabile s-o distrugă. Întradevăr, dacă culorile roşu şi albastru ar fi mai şterse şi mai slabe, distanţa dintre imagini ar fi mai mică decît un inch şi jumătate; dacă ele ar fi mai vii şi mai pline, această distanţă ar fi mai mare,

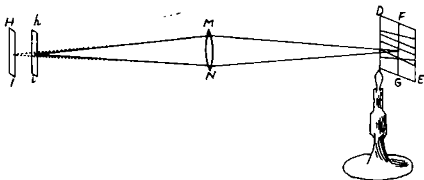


Fig 12

după cum se va vedea mai departe. Aceste experienţe pot fi suficiente pentru culorile corpurilor naturale. În ceea ce priveşte culorile formate din refracţia prismelor, această propoziţie se va lămuri prin experienţele din propoziţia următoare.

PROPOZIŢIA II. TEOREMA II

Lumina solară constă din raze cu refranjibilitate diferită.

Proba experimentală

Experienţa 3. Într-o cameră foarte întunecoasă, în dreptul unui orificiu rotund făcut în oblonul unei ferestre şi larg de aproximativ o treime de inch, am aşezat o prismă de sticlă prin care fasciculul de lumină solară să poată fi refractat mai mult spre peretele opus al camerei şi acolo să formeze o imagine colorată a Soarelui. Axa prismei (adică linia care trece prin mijlocul prismei de la un capăt al ei la celălalt paralel cu muchia unghiului de refracţie) era în această experienţă, ca şi în cele următoare, perpendiculară pe razele incidente.

Am rotit încet prisma în jurul axei şi am văzut că lumina refractată pe perete sau imaginea colorată a Soarelui la început coboară şi apoi urcă. Între coborîre şi ridicare, cînd imaginea părea a fi staţionară, am oprit prisma şi am fixat-o într-o poziţie fixă. Într-adevăr, în această poziţie, refracţiile luminii la cele două feţe ale unghiului de refracţie, adică la intrarea razelor în prismă şi la ieşirea lor, erau egale între ele*. De asemenea, în alte experienţe, de cîte ori am dorit ca refracţiile la ambele feţe ale prismei să fie egale între ele, am notat locul în care imaginea Soarelui formată prin refracţia luminii rămînea nemişcată între două mişcări opuse, între perioadele ei de avansare şi de retragere; cînd imaginea ajungea în acest loc, fixam prisma. În această poziţie, considerată ca fiind cea mai comodă, trebuie înţeles că sînt aşezate toate prismele în experienţele care urmează, în afară de cazul cînd este descrisă o altă poziţie. Prin urmare, prisma fiind aşezată în această poziţie, am lăsat să cadă lumina refractată perpendicular pe o bucată de hîrtie albă de pe peretele opus al camerei şi am observat figura şi dimensiunile imaginii solare formate pe hîrtie de această lumină. Această imagine era lunguiaţă, dar nu ovală, ci terminată în două laturi rectilinii şi paralele şi două capete semicirculare. Marginile ei erau destul de clar delimitate, dar la capete erau foarte confuze şi neclare, lumina scăzînd şi dispărînd treptat. Lăţimea imaginii corespundea diametrului Soarelui şi era de aproximativ doi inch şi o optime, inclusiv penumbra. Imaginea era situată la o distanţă de optsprezece picioare şi jumătate de prismă, iar la această distanţă lăţimea, dacă se micşora prin diametrul orificiului din oblonul ferestrei, adică cu un sfert de inch, subîntindea la prismă un unghi de aproximativ o jumătate de grad, care este diametrul aparent al Soarelui. Lungimea imaginii era însă aproximativ de zece inch şi un sfert, iar lungimea laturilor rectilinii de aproximativ opt inch ; unghiul de refracţie al prismei care dădea o lungime aşa de mare era de 64°. La un unghi mai mic, lungimea imaginii era mai mică, lăţimea rămînînd aceeaşi. Dacă prisma se învîrtea în jurul axei sale în partea care face ca razele să iasă mai oblic din a doua suprafaţă de refracţie a prismei, imaginea devenea îndată mai lungă cu un inch sau cu doi ori chiar mai mult; dacă prisma se învîrtea în partea opusă, astfel ca razele să cadă mai oblic pe prima suprafaţă de refracţie, imaginea devenea de îndată mai scurtă cu unul sau cu doi inch. Prin urmare, în efectuarea acestei experienţe m-am îngrijit

---

* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secţ. I, §10; secţ. II, §29; secţ. III, prop. 25.

cît se poate de mult ca să așez prisma, după regula menționată mai sus într-o astfel de poziție, încît refracțiile razelor la emergența din prismă să poată fi egală cu acelea de la incidența pe ea*. Prisma cu care am lucrat avea cîteva vine** mergînd de la un capăt la altul în sticlă, care dispersau o parte din lumina solară în mod neregulat, dar nu aveau nici un efect asupra creșterii lungimii spectrului colorat. Într-adevăr, eu am efectuat aceeași experiență cu același succes și cu alte prisme. În special cu o prismă care era lipsită de orice vine și al cărei unghi de refracție era de $62\frac{1}{2}$ grade, am găsit lungimea imaginii de $9\frac{3}{4}$ sau de 10 inch la distanța de $18\frac{1}{2}$ picioare de prismă, lărgimea orificiului în oblonul ferestrei fiind de $\frac{1}{4}$ inch, ca mai înainte. Fiindcă e ușor să faci o greșeală în așezarea prismei în poziția potrivită, am repetat experiența de patru sau de cinci ori și totdeauna am găsit că lungimea imaginii era aceea pe care am indicat-o mai sus. Cu o altă prismă de sticlă mai pură și mai bine șlefuită, care părea lipsită de vine și al cărei unghi de refracție era de $63\frac{1}{2}$ grade, lungimea imaginii la aceeași distanță de $18\frac{1}{2}$ picioare era de asemenea aproximativ de 10, sau $10\frac{1}{8}$ inch. În afară de aceste măsurători, lumina norilor părea cam cu $\frac{1}{4}$ sau $\frac{1}{3}$ inch la fiecare capăt al spectrului a fi puțin colorată în roșu și violet, dar atît de slab încît am presupus că această colorație poate proveni în întregime sau în mare parte de la unele raze ale spectrului dispersate neregulat de inegalități în substanța și șlefuirea sticlei și de aceea nu le-am inclus în aceste măsurători. Mărimea diferită a orificiului din oblonul ferestrei, diferitele grosimi ale prismei pe unde treceau razele și diferitele înclinații ale prismei față de orizont nu schimbau în mod sensibil lungimea imaginii. Nici materialul diferit al prismelor nu producea vreo schimbare, deoarece, într-un vas făcut din plăci de sticlă șlefuită laolaltă în formă

* Adică unghiurile de incidență și de emergență să fie egale.

** Neuniformități în interiorul prismei, defecte de turnare a sticlei.

de prismă şi umplut cu apă, experienţa a reuşit la fel în ceea ce priveşte mărimea refracţiei*. Trebuie să observăm mai departe că razele merg în linie dreaptă de la prismă spre imagine şi de aceea la ieşirea lor din prismă aveau aceeaşi înclinaţie una faţă de alta, de unde rezulta lungimea imaginii, adică înclinaţia mai mare de doi inch şi jumătate. Totuşi conform legilor opticii obişnuit admise, nu e posibil să fie atît de mult înclinate una faţă de cealaltă**. Într-adevăr fie *EG*

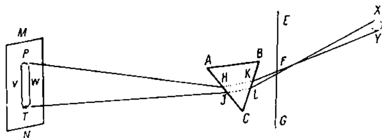


Fig. 13

(fig. 13) oblonul ferestrei, *F* orificiul făcut în el prin care un fascicul de lumină solară intra în camera obscură şi *ABC* un plan triunghiular imaginar prin care se presupune că prisma e tăiată transversal de către mijlocul luminii. Sau, dacă doriţi, fie *ABC* prisma însăşi îndreptată direct cu capătul ei mai apropiat spre ochiul observatorului, fie *XY* Soarele, *MN* hîrtia pe care se proiectează imaginea solară sau spectrul şi *PT* imaginea însăşi, ale cărei margini spre *v* şi *w* sînt rectilinii şi paralele, iar capetele spre *P* şi *T* semicirculare. *YKHP* şi *XLJT* sînt două raze, dintre care prima vine de la partea inferioară a Soarelui spre partea superioară a imaginii şi e refractată în prismă în *K* şi *H*, iar a doua vine de la partea superioară a Soarelui spre partea inferioară a imaginii şi e refractată în *L* şi *J*. Deoarece refracţiile la ambele feţe ale prismei sînt egale între ele, adică refracţia în *K* e egală cu refracţia din *J* şi refracţia în *L* este egală cu refracţia în *H*, astfel că refracţiile razelor incidente în *K* şi *L* luate împreună sînt egale cu

* Newton a întrebuinţat la experienţele sale de dispersie prisme cu indice de refracţie mare şi a ajuns la convingerea că puterea lor de refracţie şi dispersie nu depinde de substanţa din care sînt confecţionate. Această convingere şi-a menţinut-o chiar şi după ce fizicianul Lucas din Liège i-a atras atenţia că experienţele sale în alte prisme nu confirmă aceste concluzii. Datorită acestei greşeli Newton a pierdut ocazia de a descoperi acromatismul.

** Vezi Newton, Lectiones opticae, partea I, sect. I, § 5.

refracțiile razelor emergente în *H* și *J* luate împreună prin adăugarea unor lucruri egale la alte lucruri egale, rezultă că refracțiile în *K* și *M* luate împreună sînt egale cu refracțiile în *J* și *L* luate împreună și, prin urmare, cele două raze, fiind egal refractate, au după refracție aceeași înclinație între ele pe care au avut-o și înainte, adică înclinația de jumătate de grad corespunzătoare diametrului Soarelui. Căci aceasta era înclinația razelor între ele înainte de refracție. Atunci lungimea imaginii *PT* după legile obișnuite ale opticii ar subîntinde un unghi de o jumătate de grad în prismă și, în consecință egal cu, lățimea *vw*, prin urmare imaginea ar fi rotundă. Așa s-ar întîmpla dacă cele două raze *XLJT*, *YKHP* și toate celelalte care formează imaginea *Pw* și *Tw*, ar fi la fel de refrangibile Dar, cercetînd prin experiență și găsindu-se că imaginea nu e rotundă, ci aproximativ de cinci ori mai lungă decît lată, razele care merg spre capătul superior *P* al imaginii suferă refracția cea mai mare și trebuie să fie mai refrangibile decît acelea care merg spre capătul inferior *T* numai dacă inegalitatea refracției nu e accidentală.

Imaginea sau spectrul *PT* era colorat, fiind roșu la capătul *T* cel mai puțin refractat, violet la capătul *P* cel mai refractat și galben-verzui și albastru în locurile intermediare. Aceasta corespunde propoziției întîi, că lumina care diferă în culoare diferă de asemenea în refrangibilitate. Lungimea imaginii în experiențele precedente am măsurat-o de la roșul extrem cel mai slab de la un capăt pînă la albastrul extrem cel mai slab la celălalt capăt, cu excepția numai a unei penumbre mici, a cărei lățime rareori depășește un sfert de inch, după cum s-a spus mai sus.

Experiența 4. În fasciculul solar propagat în cameră prin orificiul din oblonul ferestrei, la o distanță de cîteva picioare de orificiu, am ținut prisma într-o poziție astfel ca axa să poată fi perpendiculară la acest fascicul. Apoi am privit prin prismă spre orificiu și am învîrtit prisma într-o parte și într-alta în jurul axei sale ca să fac imaginea orificiului ascendentă și descendentă pînă cînd, între două mișcări opuse, părea staționară; atunci am oprit prisma, astfel încît refracțiile din ambele părți ale unghiului de refracție să poată fi egale între ele, ca în experiența precedentă. În această poziție a prismei, privind prin ea orificiul amintit, am observat că lungimea imaginii sale refractate este de cîteva ori mai mare decît lățimea sa și că partea cea mai refractată apare violetă, iar cea mai puțin refractată roșie și partea mijlocie, pe rînd, albastră, verde, galbenă. Același lucru se întîmpla cînd scoteam prisma din lumina solară și priveam

prin ea spre orificiul luminat de lumina norilor de afară. Totuşi, dacă refracţia s-ar fi făcut regulat conform unui anumit raport al sinusurilor de incidenţă şi de refracţie, după cum se presupune în mod obişnuit, imaginea refractată ar fi trebuit să apară rotundă.

Astfel, din aceste două experienţe reiese că la incidenţe egale există o considerabilă inegalitate a refracţiilor. De unde rezultă această inegalitate : din faptul că unele raze incidente sînt refractate mai mult, iar altele mai puţin în mod constant sau întîmplător, sau că una şi aceeaşi rază prin refracţie este deviată, sfărîmată, dilatată ca şi cînd ar fi scindată şi împrăştiată* în mai multe raze divergente, după cum presupune *Grimaldo***, lucrul acesta nu apare însă din experienţele de faţă, dar va apărea din cea care urmează.

Experienţa 5. Considerînd deci că, dacă în experienţa a treia imaginea Soarelui putea lua o formă lunguiaţă fie prin dilatarea fiecărei raze, fie prin orice altă inegalitate întîmplătoare a refracţiei, aceeaşi imagine lunguiaţă va fi formată de o a doua refracţie laterală mai largă, printr-o dilatare asemănătoare a razelor, sau de o altă inegalitate întîmplătoare a refracţiilor laterale, am încercat care vor fi efectele unei a doua refracţii de acest fel. În acest scop am folosit acelaşi aranjament din experienţa a treia şi apoi am aşezat o a doua prismă imediat după prisma în poziţie crucişă faţă de ea, astfel ca să poată refracta din nou fasciculul de lumină solară care vine la ea prin prima prismă. În prima prismă acest fascicul era refractat în sus, iar în a doua lateral. Am constatat că prin refracţia prismei a doua lăţimea imaginii nu a crescut, dar că partea ei superioară, care în prima prismă a suferit o refracţie mai mare şi era violetă şi albastră, în a doua prismă a suferit din nou o refracţie mai mare decît partea ei inferioară, care era roşie şi galbenă, şi aceasta fără vreo altă dilatare a imaginii în lăţime.

Explicaţie. Fie *S* (fig. 14, 15) Soarele, *F* orificiul din fereastră, *ABC* întîia prismă, *DH* prisma a doua, *Y* imaginea rotundă a Soarelui făcută de un fascicul de lumină directă cînd prisma e îndepărtată, *PT* imaginea lunguiaţă a Soarelui produsă de fasciculul ce trece numai prin prisma întîi cînd prisma a doua e îndepărtată şi *pt* imaginea produsă de refracţiile încrucişate ale ambelor prisme. Dacă razele care merg spre diferitele puncte ale imaginii rotunde *Y* ar fi

* Este vorba de deviaţie, dispersie şi alungire.

** *Francesco Maria Grimaldi, Physico — mathesis de lumine, coloribus et iride, 1665.*

dilatate şi împrăştiate prin refracţia primei prisme, astfel ca să nu mai meargă în linii izolate spre puncte izolate, ci fiecare rază să fie scindată, împrăştiată şi transformată din rază liniară într-o supra-

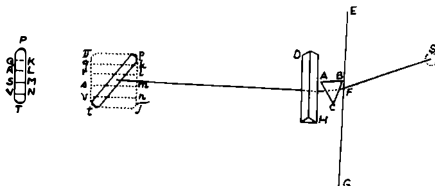


Fig. 14

faţă de raze care diverg dintr-un punct de refracţie şi se află în planul unghiurilor de incidenţă şi refracţie, ele vor merge în aceste planuri spre liniile ce se întind aproape de la un capăt al imaginii *PT* la celălalt

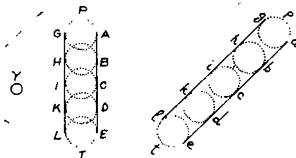


Fig. 15

şi de aceea imaginea ar ajunge să fie alungită; acele raze şi diferitele lor părţi, mergînd spre diferitele părţi ale imaginii *PT*, ar trebui să fie iarăşi dilatate şi împrăştiate lateral de refracţia transversală a prismei a doua, astfel ca să formeze o imagine pătrată, aşa cum e repre-

zentată prin $\pi\tau$. Pentru o mai bună înţelegere a acestora, să dividem imaginea *PT* în cinci părţi egale *PQK*, *KQRL*, *LRSM*, *MSVN*, *NVT*. Prin aceeaşi neregularitate prin care lumina circulară *Y* este dilatată prin refracţia prismei întîi şi proiectată sub forma unei imagini lungi *PT*, lumina *PQK*, care ocupă un spaţiu de aceeaşi lungime şi lăţime ca şi lumina *Y*, ar trebui să fie dilatată prin refracţia în prisma a doua şi proiectată sub forma unei imagini alungite πqkp, iar lumina *KQRL* în imaginea alungită *kqrl* şi luminile *LRSM*, *MSVN*, *NVT* sub forma a tot atîtor imagini alungite *lrsm*, *msvn*, *nvt*τ. Toate aceste imagini alungite ar compune cele patru imagini pătrate $\pi\tau$. Acest lucru s-ar întîmpla dacă fiecare rază ar fi dilatată prin refracţie şi împărţită în suprafeţele triunghiulare ale razelor ce diverg din punctul de refracţie. A doua refracţie ar împrăştia razele tot atît de mult într-o parte cît şi prima în cealaltă parte şi astfel ar dilata imaginea în lăţime tot atît de mult ca prima în lungime. Acelaşi lucru ar trebui să se întîmple dacă unele raze ar fi întîmplător refractate mai mult decît altele. Dar lucrurile stau altfel. Imaginea *PT* nu a fost făcută mai largă prin refracţia prismei a doua, ci a devenit numai oblică, după cum e reprezentată prin *pt*, capătul ei superior *P* fiind deplasat prin refracţie la o distanţă mai mare decît capătul ei inferior *T*. În acest fel, lumina care mergea spre capătul superior al imaginii *P* era (la incidenţe egale) refractată mai mult în prisma a doua decît lumina care se îndrepta spre capătul inferior *T*, adică albastrul şi violetul mai mult decît roşul şi galbenul, prin urmare era mai refrangibilă. Aceeaşi lumină a fost deplasată prin refracţia în prisma întîi mai departe de locul *Y* spre care tindea înainte de refracţie, prin urmare a suferit atît în prisma întîi, cît şi în a doua o refracţie mai mare decît restul luminii şi în consecinţă, a fost mai refrangibilă decît restul, chiar înainte de a cădea pe prisma întîia.

Altă dată am aşezat o a treia prismă după a doua şi uneori o a patra după a treia, prin care toate imaginile să poată fi adesea refractate lateral; dar razele care au fost mai mult refractate decît restul în prima prismă au fost de asemenea mai refractate în tot restul, şi aceasta fără nici o dilatare laterală a imaginii; prin urmare, acele raze, din cauza permanenţei unei refracţii mai mari, au fost considerate pe bună dreptate mai refrangibile.

Dar pentru ca scopul acestei experienţe să apară mai clar, să considerăm că razele egal refrangibile cad pe un cerc care corespunde discului solar. Într-adevăr, lucrul acesta s-a demonstrat în experi-

enţa a treia. Printr-un cerc eu nu înţeleg aici un cerc geometric perfect, ci o figură circulară a cărei lungime este egală cu lăţimea şi care ca aspect poate părea circulară. Fie deci *AG* (fig. 15) cercul pe care toate razele cele mai refrangibile propagate de la întregul disc solar l-ar lumina şi l-ar forma pe peretele opus dacă ar fi singure, *EL* cercul pe care toate razele mai puţin refrangibile l-ar lumina şi l-ar proiecta în acelaşi fel dacă ar fi singure, *BH*, *CJ*, *DK* cercurile pe care tot atîtea feluri de raze intermediare le-ar proiecta succesiv pe perete dacă fiecare în parte ar veni succesiv de la Soare, restul fiind întotdeauna interceptate; să considerăm că acolo există alte nenumărate cercuri intermediare, pe care alte nenumărate feluri de raze le-ar proiecta succesiv pe perete dacă Soarele ar emite pe rînd fiecare fel în parte. Văzînd că Soarele emite toate aceste feluri simultan, ele trebuie toate împreună să lumineze şi să proiecteze nenumărate cercuri egale, care toate, fiind aşezate după gradul de refrangibilitate într-o serie continuă, compun spectrul lunguieţ *PT* pe care l-am descris în experienţa a treia. Dacă însă imaginea circulară *Y* a Soarelui (fig. 15) formată de un fascicul de lumină nerefractată, printr-o dilatare a diverselor raze sau printr-o altă neregularitate în refracţia prismei întîi, a fost transformată în spectrul lunguieţ *PT*, atunci ar trebui ca fiecare cerc *AG*, *BH*, *CJ* etc. din acest spectru, prin refracţia încrucişată din prisma a doua care dilată sau împrăştie într-un fel oarecare razele, să fie în acelaşi fel proiectat sau transformat într-o figură lunguiaţă şi în acest fel lăţimea imaginii *PT* va fi acum tot atît de mult mărită cît era lungimea imaginii *Y* înainte de refracţia prismei întîi; astfel prin refracţia celor două prisme împreună s-ar forma o figură pătrată $p\pi t\tau$ la fel ca cea pe care am descris-o mai sus. Prin urmare, fiindcă lăţimea spectrului *PT* nu a crescut prin refracţia laterală, este sigur că razele nu au fost scindate, dilatate sau în alt fel împrăştiate neregulat prin refracţie, ci că fiecare cerc este transportat printr-o refracţie regulată şi uniformă în alt loc, ca cercul *AG* prin refracţia cea mai mare în poziţia *ag*, cercul *BH* printr-o refracţie mai mică în poziţia *bh*, cercul *CJ* printr-o refracţie şi mai mică în poziţie *ci* şi aşa şi restul; prin acest mijloc, un nou spectru *pt*, înclinat faţă de cel precedent *PT*, este format la fel din cercuri situate în linie dreaptă; aceste cercuri trebuie să fie de aceeaşi mărime cu primele, deoarece lărgimea spectrelor *Y*, *PT* şi *pt* la distanţe egale de prisme sînt egale.

Am considerat mai departe că prin lărgimea orificiului *F* prin care intră lumina în camera obscură se face o penumbră împrejurul

spectrului *Y* şi că penumbra rămîne în partea rectilinie a spectrelor *PT* şi *pt*. De aceea am aşezat în faţa orificiului o lentilă sau obiectivul unui telescop care poate proiecta imaginea Soarelui distinct în *Y* fără nici o penumbră şi am găsit că penumbra părţii rectilinii a spectrului lunguieţ *PT* şi *pt* era prin aceasta înlăturată, astfel că aceste margini apăreau tot atît de distinct ca şi circumferinţa primei imagini *Y*. Aşa se întîmpla dacă sticla prismei este lipsită de vine iar marginile sînt riguros plane şi bine şlefuite fără acele nenumărate valuri şi ondulaţii care rezultă de obicei din găurile produse de nisip şi care n-au fost netezite destul prin şlefuire cu chit. Dacă sticla este bine şlefuită şi lipsită de vine, însă marginile nu sînt viguros plane, ci puţin convexe, ceea ce se întîmplă frecvent, cele trei spectre *Y*, *PT* şi *pt* încă pot să nu aibă penumbre, dar nu la distanţă egală de prisme. Din această lipsă de penumbre am aflat mai sigur că fiecare cerc a fost refractat conform unei legi foarte regulate, uniforme şi constante. Într-adevăr, dacă ar exista oarecare neregularităţi în refracţie, liniile drepte *AE* şi *GL* pe care le ating toate cercurile din spectrul *PT* nu ar putea fi transformate prin refracţie în liniile *ae* şi *gl*, ajungînd să fie atît de distincte şi de rectilinii cum erau înainte ; ar apărea în aceste linii transportate unele penumbre, îndoituri sau ondulaţii sau alte perturbaţii sensibile, diferite de ceea ce s-a găsit prin experienţă. Orice penumbră sau perturbaţie s-ar produce în cercuri prin refracţia crucişă a prismei a doua, acea penumbră sau perturbaţie s-ar pune în evidenţă în liniile drepte *ae* şi *gl* care ating cercurile. Prin urmare, deoarece nu există nici o astfel de penumbră sau perturbaţie în aceste linii drepte, nu pot să existe nici în cercuri. Deoarece distanţa dintre aceste tangente sau lăţimea spectrului nu a crescut prin refracţie, diametrele cercurilor de asemenea nu au crescut. Fiindcă aceste tangente continuă a fi linii drepte fiecare cerc care în prisma întîi este mai mult sau mai puţin refractat este şi în a doua refractat mai mult sau mai puţin, exact în acelaşi raport. Văzînd că toate aceste fapte continuă să se succeadă în acelaşi fel cînd razele sînt din nou refractate lateral într-o a treia şi a patra prismă, este evident că razele unuia şi aceluiaşi cerc, după gradul lor de refrangibilitate, continuă să fie totdeauna uniforme şi omogene între ele şi că acelea ale diferitelor cercuri diferă după gradul de refrangibilitate, într-un raport anumit şi constant. Aceasta este ceea ce voiam să demonstrez.

Mai există o circumstanţă sau două a acestei experienţe prin care ea devine mai clară şi mai convingătoare. Să aşezăm prisma a doua *DH* (fig. 16) nu imediat după prima, ci la o oarecare distanţă de ea, să presupunem la mijlocul distanţei dintre ea şi peretele pe care e proiectat spectrul alungit *PT*, astfel ca lumina de la prisma întîi să poată cădea pe ea sub forma unui spectru alungit $\pi\tau$ paralel cu

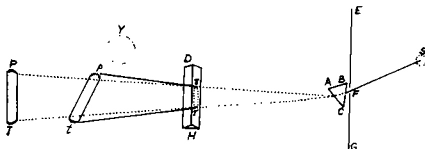


Fig. 16

prisma a doua şi să fie refractată lateral că să formeze un spectru alungit *pt* pe perete. Veţi găsi, ca şi înainte, că spectrul *pt* este înclinat faţă de spectrul *PT* pe care-l formează prisma întîi singură fără a doua, capetele albastre *P* şi *p* fiind mai îndepărtate unul de altul decît cele roşii *T* şi *t* şi, în consecinţă, că razele care merg spre capătul albastru π al imaginii $\pi\tau$ şi care, prin urmare, suferă refracţia cea mai mare în prisma întîi sînt din nou refractate mai mult în prisma a doua decît restul.

Acelaşi lucru l-am încercat de asemenea lăsînd să pătrundă lumina solară într-o cameră întunecată prin două orificii mici rotunde *F* şi φ (fig. 17), făcute în oblon, şi cu două prisme paralele *ABC* şi $\alpha\beta\gamma$ aşezate în faţa acestor orificii (cîte una la fiecare), refractînd cele două fascicule de lumină spre peretele opus al camerei, în aşa fel încît cele două imagini colorate *PT* şi *MN* pe care le proiectează erau unite la capete şi se situau pe o linie dreaptă, capătul roşu *T* al uneia atingînd capătul albastru *M* al celeilalte. Dacă aceste două fascicule refractate erau din nou refractate lateral de o a treia prismă *DH*, aşezată în cruce faţă de primele două, şi spectrele deplasate în acest fel într-o altă parte a peretelui camerei, de exemplu spectrul *PT* în *pt* şi spectrul *MN* în *mn*, aceste spectre deplasate *pt* şi *mn* nu se

vor găsi în linie dreaptă cu capetele lor învecinate ca înainte, ci separat unul de celălalt, ajungînd paralele, capătul albastru *m* al imaginii *mn* fiind deplasat printr-o refracție mai mare mai departe de locul anterior *MT* decît capătul roșu *t* al celeilalte imagini *pt* de la același loc *MT*, ceea ce face ca propoziția să fie în afara oricărei discuții. Aceasta se întîmplă chiar dacă prisma a treia *DH* e așe-

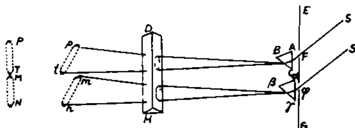


Fig. 17

zată imediat după primele două sau la o distanță mare de ele, astfel ca lumina refractată în primele două prisme să fie sau albă și circulară, sau colorată și lunguiață atunci cînd cade pe cea de-a treia.

Experiența 6 *. În mijlocul a două cartoane subțiri am făcut două orificii rotunde cu un diametru de o treime de inch, iar în oblonul ferestrei unul mai mare decît în carton, care să lase în camera întunecată un fascicul larg de lumină solară; am așezat o prismă în spatele oblonului prin care fasciculul să fie refractat spre peretele opus și imediat în spatele prismei am fixat unul dintre cartoane în așa fel încît mijlocul luminii refractate să poată trece prin orificiul făcut în el, iar restul să fie oprit de carton. Apoi la o distanță de aproximativ 12 picioare de primul carton am fixat celălalt carton

* Newton în scrisoarea sa din 6 februarie 1672 către Oldenburg, secretarul Societății Regale din Londra în care descrie cercetările sale asupra dispersiei luminii albe, numește această experiență *experimentum crucis* (experiență crucială), considerînd-o drept experiență decisivă pentru teoria sa asupra compunerii luminii. Mai tîrziu a abandonat această denumire convingîndu-se că și alte experiențe ale sale sînt tot atît de decisive pentru teoria sa. În *Optică* expresia *experimentum crucis* nu mai intervine, ea s-a păstrat însă în literatura științifică și cea didactică. În scrisoarea menționată, care s-a citit la ședința Societății Regale din 8 februarie 1672 și a apărut și în *Philosophical Transactions* 7 din același an, experiența nu e însoțită de schemă din care cauză la început fizicienii contemporani nu au înțeles-o (Huygens, Pardies).

în aşa fel încît mijlocul luminii refractate care venea prin orificiul primului carton şi cădea pe peretele opus să poată trece prin orificiul acestui al doilea carton, iar restul, fiind oprit de carton, să poată proiecta pe el spectrul colorat al Soarelui. Imediat înapoia acestui carton am fixat o altă prismă care să refracte lumina care venea prin orificiu. Apoi am revenit repede la prima prismă şi, rotind-o

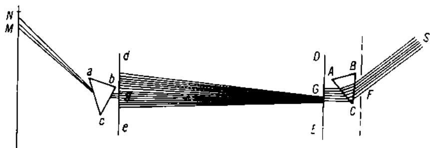


Fig. 18

încet într-o parte şi în alta în jurul axei sale, am făcut ca imaginea care cădea pe cartonul al doilea să se deplaseze în sus şi în jos pe acesta astfel încît toate părţile ei să poată trece succesiv prin orificiul cartonului şi să cadă pe prisma din spatele lui. În acelaşi timp am notat poziţiile pe peretele opus spre care trecea această lumină după refracţia ei în prisma a doua; prin diferenţa poziţiilor am găsit că lumina care era mai mult refractată în prisma întîi, mergînd spre capătul albastru al imaginii era de asemenea mai mult refractată în prisma a doua decît lumina care mergea spre capătul roşu al acestei imagini, ceea ce confirmă atît propoziţia întîi, cît şi pe a doua. Lucrul acesta se întîmpla fie că axele celor două prisme erau paralele, fie că erau înclinate una faţă de alta şi faţă de orizont sub un unghi oarecare dat.

Explicaţie. Fie *F* (fig. 18) orificiul larg din oblonul ferestrei prin care Soarele luminează prisma întîi *ABC*; lumina refractată cade pe mijlocul cartonului *DE*, iar partea de mijloc a acestei lumini pe orificiul *G* făcut în mijlocul cartonului. Să lăsăm să cadă această parte transmisă a luminii tot pe mijlocul cartonului al doilea *de* şi acolo să apară o astfel de imagine lunguiaţă colorată a Soarelui ca cea descrisă în experienţa a treia. Prin rotirea înceată a prismei *ABC* într-o parte şi într-alta în jurul axei, această imagine se va

deplasa în sus şi în jos pe cartonul *de* şi în acest fel toate părţile ei de la un capăt şi de la celălalt pot fi făcute să treacă succesiv prin orificiul *g* din mijlocul cartonului. În acelaşi timp să fixăm o altă prismă *abc* după orificiul *g*, pentru ca să refracte a doua oară lumina transmisă. Făcînd acest aranjament experimental, am notat poziţiile *M* şi *N* de pe peretele opus pe care cădea lumina refractată şi am constatat că, atunci cînd cele două cartoane şi prisma a doua rămîneau nemişcate, aceste poziţii se schimbau încontinuu prin rotirea primei prisme în jurul axei sale. Într-adevăr, cînd partea inferioară a luminii care cădea pe cartonul al doilea *de* trecea prin orificiul *g*, ea se îndrepta spre o poziţie *M* de pe perete situată mai jos, iar cînd partea superioară a luminii trecea prin acelaşi orificiu *g*, ea se îndrepta spre o poziţie *N* mai sus pe perete, iar cînd o parte intermediară a luminii trecea prin acest orificiu, ea se îndrepta spre o poziţie oarecare de pe perete între M şi *N*. Poziţia neschimbată a orificiilor din cartoane face ca incidenţa razelor pe a doua prismă să fie aceeaşi în toate cazurile. Chiar şi la această incidenţă comună unele raze erau mai mult refractate, iar altele mai puţin. Razele refractate mai mult în această prismă au fost cele care suferiseră o refracţie mai mare în prima prismă şi deviaseră mai mult într-o parte, prin urmare din cauza proprietăţii lor de a fi refractate mai mult au fost denumite pe bună dreptate mai refrangibile.

Experienţa 7. În faţa a două orificii făcute aproape unul lîngă altul în oblonul ferestrei mele am aşezat două prisme, cîte una în dreptul fiecăruia, care puteau proiecta pe peretele opus * (în felul descris în experienţa a treia) două imagini lunguieţe colorate ale Soarelui. La o distanţă mică de perete am aşezat o bucată de hîrtie lungă şi subţire cu marginile drepte şi paralele şi am aranjat prismele şi hîrtia astfel încît culoarea roşie a imaginii să poată cădea direct pe o jumătate a hîrtiei, iar culoarea violetă a celeilalte imagini pe cealaltă jumătate a aceleiaşi hîrtii, astfel că hîrtia apărea în două culori, roşie şi violetă, asemănător hîrtiei colorate în prima şi a doua experienţă. Apoi am acoperit cu o pînză neagră peretele din spatele hîrtiei, astfel ca nici o lumină să nu poată fi reflectată de el pentru a deranja experienţa; privind hîrtia printr-o a treia prismă aşezată paralel cu ea, am văzut că jumătatea luminată de lumina violetă era despărţită de cealaltă jumătate printr-o refracţie mai mare, mai ales cînd mă îndepărtam mult de hîrtie. Într-adevăr, cînd o priveam prea de aproape, cele două jumătăţi ale hîrtiei nu apăreau

* Figura 17.

complet separate una de alta, ci în atingere la unul dintre unghiuri la fel ca hîrtia colorată din prima experienţă. Aceasta se întîmpla şi atunci cînd hîrtia era prea mare.

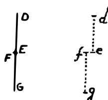


Fig. 19

Uneori în loc de hîrtie am folosit un fir alb şi acesta apărea prin prismă divizat în două fire paralele, aşa cum este reprezentat în figura 19, unde *DG* indică firul luminat cu lumină violetă de la *D* la *E* şi cu lumină roşie de la *F* la *G*, *defg* fiind părţile firului văzute prin refracţie. Dacă o jumătate a firului este constant luminată cu lumină roşie, iar cealaltă jumătate este luminată succesiv cu toate culorile (ceea ce se poate face prin rotirea unei prisme în jurul axei sale în timp ce cealaltă rămîne nemişcată), această a doua jumătate a firului privit prin prismă va apărea ca o linie dreaptă continuă cu prima jumătate cînd şi aceasta e luminată cu roşu, începe să fie cîte puţin despărţită de ea cînd e luminată cu portocaliu, se îndepărtează şi mai mult de ea cînd e luminată cu galben, încă şi mai mult cînd e cu verde, cînd e cu albastru şi mai mult şi încă mai mult cînd e luminată cu indigo, şi cel mai mult cînd este luminată cu violet-închis. Aceasta arată în mod evident că luminile de diferite culori sînt unele mai refrangibile decît altele în următoarea ordine a culorilor: roşu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet-închis şi astfel se confirmă la fel de bine atît prima, cît şi a doua propoziţie.

Am făcut de asemenea ca spectrele colorate *PT* (fig. 17) şi *MN*, obţinute în camera întunecată prin refracţiile celor două prisme, să fie situate în linie dreaptă cap la cap, aşa cum s-a descris mai sus în experienţa a cincea. Privindu-le printr-o a treia prismă paralelă cu lungimea lor, ele nu mai apăreau în linie dreaptă, ci rupte una de alta, aşa cum sînt reprezentate în *pt* şi *mn*, capătul violet *m* al spectrului *mn* fiind deplasat printr-o refracţie mai departe de poziţia sa anterioară *MT* printr-o refracţie mai mare faţă de capătul roşu *t* al spectrului *pt*.

Mai departe am făcut ca cele două spectre *PT* (fig. 20) şi *MN* să coincidă în ordinea inversă a culorilor, capătul roşu al uneia căzînd pe capătul violet al celeilalte, aşa cum sînt reprezentate în figura alungită *PTMN*; privindu-le apoi printr-o prisma *DH* ţinută paralel cu lungimile lor, ele nu mai apăreau coincidente, ca atunci cînd le priveam cu ochiul liber, ci sub forma a două spectre distincte

pt și *mn*, încrucișate unul cu celălalt la mijloc în forma literei *X*. Aceasta arată că roșul unui spectru și violetul celuilalt, care coincideau în *PN* și *MT*, fiind separate unul de celălalt printr-o refracție mai mare a violetului în *p* și *m* decît roșul în *n* și *t*, diferă în gradele de refrangibilitate.

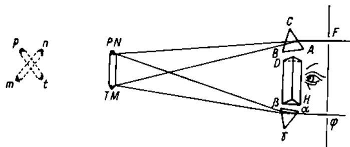


Fig. 20

De asemenea am luminat în întregime o foaie mică circulară de hîrtie albă cu luminile amestecate a două prisme și, cînd au fost luminate cu roșul unui spectru și violetul închis al celuilalt, astfel ca amestecul celor două culori să apară pretutindeni purpuriu, am privit hîrtia prima dată la o distanță mai mică și apoi la o distanță mai mare printr-o a treia prismă; cînd mă îndepărtam de hîrtie, imaginea refractată începea să se dividă din ce în ce mai mult din cauza refracției inegale a celor două culori amestecate și, în fine, să se separe în imagini distincte, una roșie și alta violetă, dintre care cea violetă era mai departe de hîrtie și, prin urmare, suferea o refracție mai mare. Cînd prisma de la fereastră care proiecta violetul pe hîrtie era îndepărtată, imaginea violetă dispărea, iar cînd cealaltă prismă era îndepărtată dispărea roșul, ceea ce arată că cele două imagini nu erau altceva decît luminile celor două prisme care s-au amestecat pe hîrtia roșie și care erau din nou separate din cauza refracției lor inegale în prisma a treia prin care era privită hîrtia. De asemenea se putea observa că, dacă una dintre prismele de la fereastră, de exemplu cea care proiecta violetul pe hîrtie, se rotea în jurul axei sale astfel ca toate culorile în ordinea următoare: violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu, roșu să cadă succesiv de la prismă pe hîrtie, imaginea violetă își schimba culoarea în mod corespunzător, trecînd succesiv în indigo, albastru, verde, galben și roșu și,schimbîn-

du-şi culoarea, se apropia din ce în ce mai mult de imaginea roşie formată de cealaltă prismă, pînă cînd, devenind şi ea roşie, ambele imagini coincideau în întregime.

Am aşezat de asemenea două discuri de hîrtie foarte aproape unul de celălalt : primul în lumina roşie a unei prisme, iar al doilea în lumina violetă a celeilalte. Fiecare disc avea un diametru de un inch, iar peretele din spatele lui era negru, astfel ca experienţa să nu poată fi perturbată de nici o lumină venind de acolo. Discurile astfel luminate le-am privit printr-o prismă ţinută în aşa fel ca refracţia să se facă spre discul roşu, iar atunci cînd mă îndepărtam de ele se apropiau din ce în ce mai mult unul de altul pînă coincideau; după aceea, îndepărtîndu-mă şi mai mult, ele se separau din nou în ordine inversă, violetul, printr-o refracţie mai mare, căzînd dincolo de roşu.

Experienţa 8. Vara, cînd razele solare sînt de obicei mai puternice, am aşezat prisma la orificiul oblonului ferestrei, ca în experienţa a treia, dar în aşa fel ca axa ei să fie paralelă cu axa lumii *, iar la peretele opus, în lumina solară refractată, am aşezat o carte deschisă. Apoi îndepărtîndu-mă la o distanţă de şase picioare şi doi inch de carte, am aşezat acolo lentila menţionată mai sus, datorită căreia lumina reflectată de carte poate fi făcută să convergă şi să se unească din nou la distanţa de şase picioare şi doi inch în spatele lentilei şi acolo să formeze imaginea cărţii pe o foaie de hîrtie albă, aproape la fel ca în experienţa a doua. Fiind fixate cartea şi lentila, am notat locul în care se găsea hîrtia în momentul cînd literele cărţii, luminate de întreaga lumină roşie a imaginii solare ce cădea pe ele, se proiectau pe hîrtie mai distinct; apoi am aşteptat pînă cînd, datorită mişcării Soarelui şi deci a mişcării imaginii sale pe carte, toate culorile de la roşu pînă la mijlocul albastrului au trecut peste litere, iar cînd aceste litere erau luminate de albastru, am notat iarăşi locul hîrtiei în momentul cînd ele îşi proiectau imaginile mai clar pe ea. Am găsit că această ultimă poziţie a hîrtiei era mai aproape de lentilă decît întîia cu aproximativ doi inch şi jumătate sau doi şi trei sferturi. Prin urmare, lumina de la capătul violet al imaginii convergea şi se aduna printr-o refracţie mai mare decît lumina de la capătul roşu. În timp ce experimentam aceasta, camera era foarte întunecată. Într-adevăr, dacă culorile sînt slăbite sau întărite prin amestecul unei lumini accidentale, distanţa dintre poziţiile hîrtiei

* Diametrul care uneşte polii sferei cereşti, perpendicular pe ecuatorul ceresc.

nu va fi prea mare. Această distanță în experiența a doua, în care s-au folosit culorile naturale ale corpurilor, era numai de un inch și jumătate din cauza imperfecției acestor culori. Aici la culorile prismei, care în mod evident sînt mai pline, mai intense și mai vii decît ale corpurilor naturale, distanța este de două degete și trei sferturi. Iar dacă culorile ar fi mai pline, nu mă îndoiesc că distanța ar fi cu mult mai mare. Lumina colorată a prismei, prin interferarea cercurilor descrise în figura a doua din experiența a cincea și datorită luminii norilor strălucitori din apropierea corpului solar care se amestecă cu aceste culori și de asemenea datorită luminii dispersate de inegalitățile suprafeței șlefuite a prismei, era atît de complexă, încît imaginile pe care culorile slabe și obscure, indigo și violet, le proiectau pe hîrtie nu erau suficient de distincte pentru a fi bine observate.

Experiența 9. Am așezat o prismă cu cele două unghiuri de la baze egale între ele și fiecare de cîte o jumătate de unghi drept, iar al treilea de un unghi drept, într-un fascicul de lumină solară care intra într-o cameră întunecată printr-un orificiu din oblonul ferestrei, ca în experiența a treia. Rotind încet prisma în jurul axei sale pînă cînd toată lumina care venea printr-unul din unghiuri și era refractată de ea începea să fie reflectată de baza sa și apoi ieșea din sticlă, am observat că razele care sufereau o refracție mai mare erau mai bine reflectate decît restul. Prin urmare, mi-am imaginat că acele raze ale luminii reflectate care erau cele mai refrangibile deveneau mai abundente în această lumină printr-o reflexie totală decît restul și că după aceea restul, de asemenea printr-o reflexie totală, devenea la fel de intens ca și acestea. Pentru a experimenta acest lucru am făcut să treacă lumina reflectată printr-o altă prismă și, fiind refractată de ea, să cadă apoi pe o bucată de hîrtie albă așezată la o oarecare distanță în spatele ei, iar acolo, datorită refracției, să formeze culorile obișnuite ale prismei. Apoi, rotind prima prismă în jurul axei sale ca mai sus, am observat că, atunci cînd razele care în această prismă au suferit cea mai mare refracție și apăreau în culorile albastru și violet, începeau să fie total reflectate, iar lumina albastră și violetă de pe hîrtie, care era refractată mai mult în prisma a doua, suferea o intensificare sensibilă față de cea a roșului și galbenului, care erau refractate mai puțin. După aceea, cînd restul luminii care era verde, galbenă și roșie începea să fie total reflectată în prima prismă, lumina acelor culori pe hîrtie ajungeau la o intensificare tot atît de mare ca și cea pe care au avut-o înainte violetul și albastrul. De aici rezultă că fasciculul de lumină reflectat de baza prismei, fiind intensificat

mai întîi de razele mai refrangibile și apoi prin cele mai puțin refrangibile, este format din raze cu refrangibilitate diferită. Nimeni nu se îndoia că toată lumina astfel reflectată este de aceeași natură cu lumina solară înainte de incidența ei la baza prismei, fiind în general admis că prin astfel de reflexii lumina nu suferă nici o alterare în modificările și proprietățile sale. Nu menționez aici nici o refracție

Fig. 21

făcută pe fețele laterale ale primei prisme, deoarece lumina intră perpendicular pe prima față și iese perpendicular pe a doua și deci nu suferă nici o refracție. Atunci lumina solară incidentă fiind de același gen și constituție cu lumina sa emergentă, iar ultima fiind compusă din raze de refrangibilitate diferită, prima trebuie să fie compusă în același fel.

Explicație. În figura 21, *ABC* este prisma întîi, *BC* baza ei, *B* și *C* unghiurile ei egale de la bază, fiecare de cîte 45 de grade, *A* vîrful ei rectaungular, *FM* un fascicul de lumină solară care intră în camera întunecată printr-un orificiu *F* larg de o treime de inch, *M* incidența de la baza prismei, *MG* o rază mai puțin refractată, *MH* o rază refractată mai mult, *MN* fasciculul de lumină reflectat de bază, *VXY* prisma a doua prin care este refractat fasciculul care trece prin ea, *Nt* lumina cea mai puțin refractată a acestui fascicul și *Np* partea lui cea mai mult refractată. Cînd prisma întîi *ABC* se învîrtește în jurul axei sale conform ordinei literelor *ABC*, razele *MH* emerg din ce în ce mai oblic din prismă și, în fine, după emergența cea mai oblică sînt reflectate spre *N* și, mergînd spre *p*, fac

să crească numărul razelor *Np*. După aceea, prin continuarea mișcării primei prisme, razele *MG* sînt de asemenea reflectate spre *N* și măresc numărul razelor *Nt*. Prin urmare, lumina *MN* admite în compoziția sa mai întîi razele mai refrangibile, apoi razele mai puțin refrangibile și numai după această compunere ea este de aceeași natură cu lumina solară imediată *FM*, reflexia bazei reflectătoare *BC* neproducînd în ea nici o alterare.

Experiența 10. Am unit două prisme de aceeași formă, astfel ca axele lor și fețele opuse, fiind paralele, să formeze un paralelipiped. Soarele luminînd în camera mea întunecată printr-un orificiu mic din oblonul ferestrei, am așezat acest paralelipiped în fasciculul său la o distanță oarecare de orificiu, într-o astfel de poziție ca axele prismelor să poată fi perpendiculare la razele incidente și ca acele raze, fiind incidente pe prima față a unei prisme, să poată trece printre fețele învecinate ale ambelor prisme și să iasă afară prin ultima față a prismei a doua. Această față, fiind paralelă cu prima față a prismei întîi, făcea ca lumina emergentă să fie paralelă cu cea indicentă. Apoi dincolo de aceste două prisme am așezat o a treia, care putea refracta lumina emergentă și prin această refracție proiecta culorile obișnuite ale prismei pe peretele opus sau pe o bucată de hîrtie albă așezată la o distanță convenabilă în spatele prismei pentru ca lumina refractată să cadă pe ea. După aceasta am învîrtit paralelipipedul în jurul axei sale și am găsit că, atunci cînd fețele învecinate ale celor două prisme devin atît de înclinate față de razele incidente încît toate acele raze încep să fie reflectate, razele care în prisma a treia au suferit cea mai mare refracție și au colorat hîrtia în violet și albastru au fost primele eliminate din lumina transmisă printr-o reflexie totală, restul rămînînd și luminînd hîrtia în verde, galben, portocaliu și roșu, ca mai înainte. După aceea, continuînd mișcarea celor două prisme, restul razelor de asemenea dispăreau pe rînd printr-o reflexie totală, conform gradului lor de refrangibilitate. De aceea lumina care iese din cele două prisme este compusă din raze cu refrangibilitate diferită, deoarece razele mai refrangibile pot fi eliminate, pe cînd cele mai puțin refrangibile rămîn. Dar această lumină traversînd numai suprafețele paralele ale celor două prisme, dacă suferea vreo schimbare prin refracție la una dintre suprafețe, acest efect se pierdea prin refracția contrară a celorlalte suprafețe și astfel se reconstituia compoziția ei anterioară, devenind de aceeași natură și condiție ca la început

înainte de incidența ei pe aceste prisme; prin urmare, înainte de incidență, ea era tot așa compusă din raze cu refrangibilitate diferită ca și după aceea.

Explicație. În figura 22, *ABC* și *BCD* sînt cele două prisme unite între ele în formă de paralelipiped, fețele lor *BC* și *CB* fiind alăturate, iar fețele *AB* și *CD* paralele. *HIK* este prisma a treia, prin care lumina solară propagată prin orificiul *F* în camera întunecată și acolo, trecînd prin fețele *AB*, *BC*, *CB* și *CD* ale prismelor, este refractată în *O* spre hîrtia albă *PT*, căzînd parțial în *P*

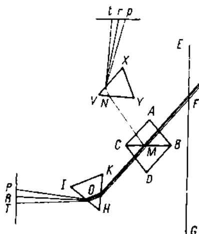


Fig. 22

printr-o refracție mai mare, parțial în *T* printr-o refracție mai mică și tot parțial în *R* și alte locuri intermediare prin refracții intermediare. Prin rotirea paralelipipedului *ACBD* în jurul axei sale în ordinea literelor *A*, *C*, *D*, *B*, la sfîrșit, cînd planele alăturate *BC* și *CB* devin suficient de oblice față de raza *FM* incidentă pe ea în *M*, va dispărea total din lumina refractată *OPT* mai întîi de toate raza cea mai refractată *OP* (restul *OR* și *OT* rămînînd ca mai înainte), apoi raza *OR* și altele intermediare și la urmă raza cea mai puțin refractată *OT*. Într-adevăr, cînd planul *BC* devine suficient de înclinat față de raza incidentă pe el, razele vor începe să fie total reflectate de el spre *N*. Mai întîi va fi reflectată total raza cea mai refrangibilă (așa cum s-a explicat în experiența prece-

dentă) şi, în consecinţă, ea trebuie să dispară mai întîi în P, iar după aceea restul, la fel cum sînt reflectate total pe rînd spre N, trebuie să dispară în aceeaşi ordine în R şi T. Apoi razele care în O suferă o refracţie mai mare pot fi eliminate din lumina MO, în timp ce restul razelor rămîne în ea şi de aceea lumina MO este compusă din raze cu refrangibilitate diferită. Fiindcă planele AB şi CD sînt paralele şi, prin urmare, prin refracţii egale şi contrare îşi distrug reciproc efectele, lumina incidentă FM trebuie să fie de acelaşi fel şi aceeaşi natură cu lumina emergentă MO şi deci trebuie să se compună din raze cu refrangibilitate diferită. Cele două lumini FM şi MO, înainte ca razele cele mai refrangibile să fi fost separate de lumina emergentă MO, coincid la culoare şi la toate celelalte proprietăţi în măsura observaţiilor mele şi de aceea pe bună dreptate se consideră de aceeaşi natură şi constituţie şi, în consecinţă, una e tot atît de compusă ca şi cealaltă. Dar după ce razele cele mai refrangibile încep să fie total reflectate şi în acest fel separate din lumina emergentă MO, această lumină îşi schimbă succesiv culoarea de la alb la galben-deschis şi slab, apoi la un portocaliu frumos, apoi la un roşu foarte închis şi apoi dispare cu totul. Căci după ce razele cele mai refrangibile care colorează hîrtia în P cu o culoare proprie sînt eliminate din fasciculul de lumină MO printr-o reflexie totală, restul culorilor care apar pe hîrtie în R şi T, fiind amestecate în lumina MO, compun acolo un galben slab, iar după ce albastrul şi o parte din verde care apar pe hîrtie între P şi R sînt eliminate, restul care apare între R şi T (adică galbenul, portocaliul, roşul şi puţin din verde), fiind amestecate în fasciculul MO, formează acolo un portocaliu; iar cînd toate razele sînt eliminate din fasciculul MO prin reflexie, cu excepţia celor mai puţin refrangibile care în T apar de un roşu-închis, culoarea lor este aceeaşi în fasciculul MO ca mai tîrziu în T, refracţia prismei HJK servind numai la separarea razelor cu refrangibilitate diferită, fără a provoca nici o alterare în culorile lor, după cum se va demonstra mai bine în cele ce urmează. Toate acestea confirmă la fel de bine atît prima propoziţie, cît şi pe a doua.

Observaţie. Dacă s-ar îmbina această experienţă cu cea precedentă şi s-ar face o altă experienţă folosind o a patra prismă VXY (fig. 22), care să refracte fasciculul reflectat MN spre tp, concluzia ar fi şi mai clară. Căci lumina Np, care este refractată mai mult în prisma a patra, va deveni mai închisă şi mai intensă cînd lumina

OP, care este refractată mai mult în prisma a treia *HIK*, dispare în *P*, iar după aceea, cînd lumina cea mai puțin refractată *OT* dispare în *T*, lumina cea mai puțin refractată *Nt* va începe să crească, în timp ce lumina mai mult refractată în *p* nu mai suferă nici o creștere. După cum fasciculul transmis *MO*, dispărînd, este totdeauna de culoarea care trebuie să rezulte din amestecul culorilor ce cad pe hîrtia *PT*, tot așa fasciculul reflectat *MN* este totdeauna de culoarea care rezultă din amestecul culorilor ce cad pe hîrtia *pt*. Într-adevăr, cînd razele cele mai refrangibile sînt eliminate din fasciculul *MO* printr-o reflexie totală și fasciculul rămîne de culoare portocalie, surplusul de raze în lumina reflectată nu numai face ca violetul, indigoul și albastrul în *p* să fie mai închise, ci face ca și fasciculul *MN* să se schimbe de la culoarea gălbuie a luminii solare într-un alburiu-pal, înclinînd spre albastru, iar după aceea să-și recapete iarăși culoarea gălbuie îndată ce tot restul luminii transmise *MOT* este reflectată.

Urmărind toată această varietate de experiențe în care fie că încercarea se face în lumină reflectată de corpuri naturale, ca în experiența întîi și a doua, sau de cele reflectatoare, ca în a noua, sau în lumină refractată, și anume înainte ca razele refractate inegal să diveargă separate una de alta și pierzîndu-și albul pe care l-au avut împreună să apară separate în diverse culori, ca în experiența a cincea, sau după ce sînt separate una de alta și apar colorate, ca în experiențele a șasea, a șaptea și a opta, sau în lumina trimisă prin suprafețe paralele, distrugîndu-și reciproc efectele, ca în experiența a zecea, există totdeauna raze care la incidențe egale pe același mediu suferă refracții inegale, și aceasta fără nici o divizare sau dilatare a diverselor raze, ca în experiențele a cincea și a șasea. Razele care diferă în refrangibilitate pot fi împărțite și separate una de alta fie prin refracție, ca în experiența a treia, fie prin reflexie, ca în a zecea, și apoi diferitele feluri separate la incidențe egale suferă refracții inegale; acele feluri sînt mai mult refractate după separare decît altele care erau mai mult refractate înainte de separare, ca în experiențele a șasea și următoarea, și, dacă lumina solară traversează trei sau mai multe prisme încrucișate succesiv, razele care în prima prismă sînt refractate mai mult decît celelalte sînt refractate în toate prismele următoare mai mult decît celelalte în același raport, așa cum apare în experiența a cincea; este evident că lumina solară este un amestec eterogen de raze, dintre care unele sînt în mod constant mai refrangibile decît celelalte, după cum s-a spus.

PROPOZIŢIA III. TEOREMA III

Lumina solară este constituită din raze care diferă în reflexibilitate şi razele care sînt mai reflexibile decît altele sînt şi cele mai refrangibile.

Aceasta s-a dovedit prin experienţele a noua şi a zecea. Astfel, în experienţa a noua, prin învîrtirea prismei în jurul axei sale, pînă cînd razele din interiorul ei care ieşeau în aer, fiind refractate către baza ei, deveneau atît de înclinate faţă de bază încît începeau acolo să fie reflectate total, acele raze erau mai întîi reflectate total, care mai înainte, la incidenţe egale cu restul, au suferit refracţia cea mai mare. Acelaşi lucru se întîmplă în reflexia făcută la baza comună a celor două prisme în experienţa a zecea.

PROPOZIŢIA IV. PROBLEMA I

Să separăm una de alta razele eterogene ale luminii compuse.

Razele eterogene sînt într-o oarecare măsură separate una de alta în experienţa a treia prin refracţia prismei, iar in experienţa a cincea prin îndepărtarea penumbrei de pe laturile rectilinii ale imaginii colorate, separare care la acele imagini foarte rectilinii sau muchii drepte ale imaginii devine perfectă. Dar, în toate poziţiile dintre acele laturi rectilinii, nenumăratele cercuri descrise acolo, care sînt luminate diferit de razele omogene, prin interferarea uneia cu alta, fiind foarte amestecate, fac ca lumina să fie suficient de compusă. Dar dacă aceste cercuri pot fi micşorate în diametru în timp ce centrele lor îşi păstrează distanţele şi poziţiile, interferenţa lor şi, în consecinţă, amestecul razelor eterogene vor fi micşorate în aceeaşi proporţie. În figura 23 fie *AG*, *BH*, *CI*, *DK*, *EL*, *FM* cercurile pe care diferitele feluri de raze venind de la acelaşi disc al Soarelui le luminează ca în experienţa a treia; din toate acestea şi din altele nenumărate intermediare situate într-o serie continuă între două laturi rectilinii şi paralele ale imaginii alungite a Soarelui *PT* este compusă această imagine, aşa cum s-a explicat în experienţa a cincea. Fie apoi *ag*, *bh*, *ci*, *dk*, *el*, *fm* tot atîtea cercuri mici situate într-o serie continuă asemănătoare, între două linii drepte paralele *af* şi *gm* cu aceeaşi distanţă între centrele lor şi luminate de aceleaşi feluri de raze, cum este cercul *ag* luminat cu acelaşi fel de raze ca cercul corespunzător *AG* şi cercul *bh* luminat la fel ca cercul corespunzător *BH* şi, respectiv, restul cercurilor *ci*, *dk*, *el*, *fm*, cu acelaşi

fel de raze cu care au fost luminate diferitele cercuri corespunzătoare *CI*, *DK*, *EL*, *FM*. În figura *PT*, formată dintr-un număr mai mare de cercuri, trei dintre aceste cercuri *AG*, *BH*, *CI* pătrund atît de mult unul într-altul, încît cele trei feluri de raze cu care sînt luminate acele cercuri, împreună cu nenumărate feluri de raze intermediare, sînt amestecate în *QR* în mijlocul cercului *BH*. Acelaşi amestec

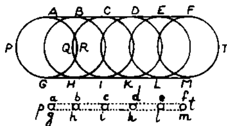


Fig. 23

are loc pe aproape întreaga lungime a figurii *PT*. Dar în figura *pt*, compusă din cercuri mai mici, cele trei cercuri *ag*, *bh*, *ci*, care corespund celor trei mai mari, nu se întrepătrund; nu s-au amestecat acolo nici măcar două sau trei feluri de raze care luminează acele cercuri şi care în figura *PT* sînt toate amestecate în *BH*.

Cine va lua în considerare aceste fapte va înţelege uşor că amestecul s-a micşorat în acelaşi raport cu diametrele cercurilor. Dacă diametrele cercurilor devin de trei ori mai mici decît mai înainte, în timp ce centrele lor rămîn aceleaşi, amestecul va fi de asemenea de trei ori mai mic; dacă devin de zece ori mai mici, amestecul va fi de zece ori mai mic, tot aşa şi pentru celelalte rapoarte. Aceasta înseamnă că amestecul de raze în figura mai mare *PT* şi amestecul lor din figura mai mică *pt* vor fi în acelaşi raport ca raportul dintre lăţimea figurii mai mari şi lăţimea celei mai mici. Într-adevăr, lăţimile acestor figuri sînt egale cu diametrele cercurilor lor. De aici rezultă uşor că amestecul de raze în spectrul de refracţie *pt*, raportat la amestecul de raze în lumina directă şi imediată a Soarelui este acelaşi cu raportul dintre lăţimea acestui spectru şi diferenţa dintre lungimea şi lăţimea aceluiaşi spectru.

Apoi, dacă voim să micşorăm amestecul de raze, trebuie să micşorăm diametrele cercurilor. Acestea se vor micşora dacă diametrul Soarelui căruia îi corespund va fi micşorat şi mai mult sau

(ceea ce revine la același lucru) dacă în afara camerei, la o mare distanță de prismă, a fost așezat în fața Soarelui un corp opac cu un orificiu rotund în mijlocul lui pentru a opri toată lumina Soarelui, exceptînd pe aceea care, venind de la mijlocul corpului său, poate trece prin orificiu spre prismă. Astfel cercurile *AG*, *BH* și restul nu vor mai corespunde întregului disc solar, ci numai acelei părți din el care poate fi văzut de la prismă prin acel orificiu, adică mărimii aparente a orificiului privit de la prismă. Dar pentru ca aceste cercuri să corespundă mai distinct acestui orificiu, se așază o lentilă la prismă pentru a proiecta imaginea orificiului (adică fiecare din cercurile *AG*, *BH* etc.) distinct pe hîrtie în *PT*, la fel cum sînt proiectate distinct pe o hîrtie din interiorul camerei obiectele din afară cu ajutorul unei lentile așezate la fereastră, iar laturile rectilinii ale imaginii solare alungite în experiența a cincea devin distincte fără nici o penumbră. Dacă s-a făcut aceasta, nu va fi necesar să se așeze orificiul foarte departe, nici măcar dincolo de fereastră. De aceea în locul acelui orificiu am folosit orificiul din oblonul ferestrei după cum urmează.

Experiența 11. În lumina solară care intra în camera mea întunecată printr-un orificiu rotund mic din oblonul ferestrei, la aproximativ zece sau douăsprezece picioare de la fereastră am așezat o lentilă prin care imaginea orificiului putea fi proiectată distinct pe o bucată de hîrtie albă situată la distanța de șase, opt, zece sau douăsprezece picioare de la lentilă. Căci, conform diferenței dintre lentile, am folosit diverse distanțe care am considerat că merită să fie descrise. Apoi imediat după lentilă am așezat o prismă prin care lumina ce o traversează putea fi refractată în sus sau lateral, și astfel imaginea rotundă, pe care lentila singură o proiecta pe hîrtie, putea fi alungită într-una cu laturi paralele, ca în experiența a treia. Am lăsat să cadă această imagine alungită pe o altă hîrtie și la aproximativ aceeași distanță de prismă ca și înainte, mișcînd hîrtia fie spre prismă, fie de la ea, pînă cînd am găsit distanța corectă la care laturile rectilinii ale imaginii deveneau mai distincte. Într-adevăr, în acest caz imaginile circulare ale orificiului care compun aceea imagine în felul în care cercurile *dg*, *bh*, *ci* etc. formează figura ***pt*** (fig. 23) erau mărginite mai distinct fără nici o penumbră și de aceea pătrundeau unul într-altul cît se poate de puțin și, în consecință, amestecul razelor eterogene era acum cel mai mic posibil. În acest fel am căutat să formez o imagine alungită (la fel ca *pt* în fig. 23 și 24) a imaginilor circulare ale orificiului (cum sînt *ag*, *bh*, *ci* etc.) și, prin folosirea unui orificiu mai mare sau mai mic în oblonul fe-

restrei, am obţinut ca imaginile circulare *ag*, *bh*, *ci* etc. din care era formată să devină mai mari sau mai mici, după dorinţă, astfel ca amestecul razelor în imaginea *pt* să fie atît de mare sau de mic după dorinţă.

Explicaţie. În figura 24, *F* reprezintă orificiul circular în oblonul ferestrei, *MN* lentila prin care imaginea orificiului este proiectată

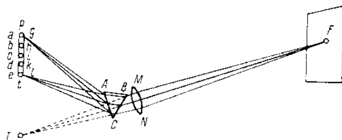


Fig. 24

clar pe o hîrtie în *I*, *ABC* prisma prin care razele la ieşirea lor din lentilă sînt refractate de la *I* spre o altă hîrtie în *pt*, iar imaginea rotundă în *I* este transformată într-o imagine alungită *pt*, căzînd pe hîrtia cealaltă. Imaginea *pt* constă din cercuri aşezate unul după altul în ordine rectilinie, aşa cum s-a explicat suficient în experienţa a cincea; aceste cercuri sînt egale cu cercul *I* şi, în consecinţă, corespund ca mărime cu orificiul *F*; prin urmare, micşorînd orificiul, ele pot fi micşorate după dorinţă, în timp ce centrele lor rămîn fixe. În acest fel am făcut ca lărgimea imaginii *pt* să fie de patru ori sau uneori de şase sau şapte ori mai mică decît lungimea ei. De exemplu, dacă lărgimea orificiului *F* este de o zecime de inch, iar distanţa *MF* a lentilei de la orificiu de 12 picioare şi dacă distanţa *pB* sau *pM* a imaginii *pt* de la prismă sau de la lentilă este de 10 picioare, iar unghiul de refracţie al prismei este de 62 de grade, lăţimea imaginii *pt* va fi a douăsprezecea parte dintr-un inch, iar lungimea de aproximativ şase inch şi, prin urmare, lungimea către lăţime va fi 72/1 şi, în consecinţă, lumina imaginii de va fi de 71 de ori mai puţin compusă decît lumina solară directă. O astfel de lumină, mult mai simplă şi mai omogenă, este suficientă pentru a face toate experienţele cu lumină simplă din această lucrare. Într-adevăr, compoziţia razelor eterogene în această lumină este aşa de mică, încît cu greu se poate descoperi sau percepe cu simţul,

cu excepţia, poate, a indigoului şi a violetului. Căci acestea, fiind culori închise, suferă uşor o alterare sensibilă de la puţina lumină dispersată, care de obicei era refractată neregulat de inegalităţile din prismă.

Este însă mai bine ca orificiului circular *F* să i se substituie un orificiu alungit, de formă asemănătoare unui paralelogram lung

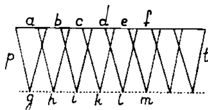


Fig. 25

cu lungimea paralelă cu prisma *ABC*. Căci dacă acest orificiu este lung de un inch sau două, dar lat de a zecea sau a douăzecea parte dintr-un inch sau mai puţin, lumina imaginii *pt* va fi tot atît de simplă ca înainte sau şi mai simplă, iar imaginea va deveni mult mai lată şi, prin urmare, mai potrivită pentru a face experienţe în lumina ei decît înainte.

În locul acestui orificiu în formă de paralelogram se poate întrebuinţa unul triunghiular cu laturi egale, a cărui bază, de exemplu, este aproximativ de o zecime de inch, iar înălţimea de un inch sau mai mult. Într-adevăr, în acest fel, dacă axa prismei este paralelă cu înălţimea triunghiului, imaginea *pt* (fig. 25) va fi formată acum din triunghiurile isoscele *ag*, *bh*, *ci*, *dk*, *el*, *fm* etc. şi alte nenumărate intermediare, unele corespunzînd ca formă şi mărime cu orificiul triunghiular, fiind situate unul după altul într-o serie continuă între două linii paralele *af* şi *gm*. Aceste triunghiuri sînt puţin amestecate la baza lor, dar nu şi la vîrfuri, de aceea lumina de pe latura strălucitoare *af* a imaginii, unde se găsesc bazele triunghiurilor, este într-o mică măsură compusă, însă pe latura mai întunecată *gm* este cu totul necompusă şi în toate locurile dintre laturi compoziţia este proporţională cu distanţele de la locurile respective la latura întunecată *gm*. Avînd un spectru *pt* cu o astfel de compoziţie, putem face experienţele fie în partea cu lumina mai puternică şi mai puţin simplă aproape de latura *af*, fie în partea cu lumină

mai slabă şi mai simplă, aproape de cealaltă latură *gm*, după cum va fi mai convenabil.

Dar în efectuarea experienţelor de acest fel camera trebuie să fie cît se poate de întunecată, pentru ca nici o lumină străină să nu se amestece cu lumina spectrului *pt* şi s-o facă compusă; în special dacă voim să facem experienţa în lumina mai simplă apropiată de latura *gm* a spectrului, care, fiind mai slabă, va avea o proporţie mai mică de lumină străină, astfel amestecul cu această lumină va perturba mai mult şi o va face să fie mai compusă. Lentila de asemenea trebuie să fie bună, astfel ca să poată servi întrebuinţărilor optice, iar prisma trebuie să aibă un unghi mare, să presupunem de 65 sau de 70 de grade, şi să fie bine şlefuită, fiind lucrată din sticlă lipsită de bule şi vine, fără ca feţele ei să fie convexe sau concave, cum se întîmplă de obicei, ci perfect plane şi bine şlefuite, ca la prelucrarea sticlelor optice, şi nu aşa ca în şlefuirea obişnuită cu chit, în care, fiind netezite numai golurile cauzate de nisip, rămîn pe întreaga sticlă ridicări foarte mici convexe, asemenea undelor. La fel marginile prismelor şi a lentilelor, atît cît pot ele da vreo refracţie neregulată, trebuie să fie acoperite cu hîrtie neagră, lipită pe ele. Toată lumina fasciculului solar care intră în cameră şi care este nefolositoare pentru experienţă trebuie oprită cu hîrtie neagră sau cu alte obstacole negre, căci altfel lumina nefolositoare, fiind reflectată în toate părţile în cameră, se va amesteca cu spectrul alungit şi-l va perturba. Încercînd aceste experienţe, se constată că nu e totdeauna necesară o asemenea precauţie, dar ea va garanta succesul experienţelor şi merită să fie aplicată de un experimentator foarte scrupulos. Sînt greu de găsit prisme de sticlă potrivite acestui scop şi de aceea am folosit uneori vase prismatice confecţionate din bucăţi de oglinzi sparte şi umplute cu apă de ploaie. Iar pentru a mări refracţia, uneori am impregnat tare apa cu *Saccharum Saturni**.

PROPOZIŢIA V. TEOREMA IV

Lumina omogenă se refractă regulat fără nici o dilatare, scindare sau împrăştiere a razelor, iar apariţia confuză a obiectelor privite prin corpuri refringente în lumină eterogenă provine din refrangibilitatea diferită a diverselor feluri de raze.

---

* *plumbum aceticum* — acetat de plumb.

Prima parte a acestei propoziţii a fost deja demonstrată suficient în experienţa a cincea şi va reieşi mai mult din experienţele ce urmează.

Experienţa 12. În mijlocul unei hîrtii negre am făcut un orificiu rotund, cu diametrul de aproximativ o cincime sau o şesime de inch. Am făcut să cadă pe această hîrtie spectrul luminii omogene descris în propoziţia precedentă, astfel ca o parte a luminii să poată trece prin orificiul hîrtiei. Această parte transmisă a luminii am refractat-o cu o prismă aşezată în spatele hîrtiei şi, lăsînd lumina refractată să cadă perpendicular pe o hîrtie albă la distanţa de două sau trei picioare de la o prismă, am aflat că spectrul format pe hîrtie de această lumină nu era alungit, ca atunci cînd aceasta se făcea prin refracţia luminii solare compuse (experienţa a treia), ci (după cît am putut aprecia cu ochiul) era perfect circulară, lungimea nefiind mai mare decît lăţimea ceea ce arată că această lumină este refractată regulat fără nici o dilatare a razelor.

Experienţa 13. Am aşezat în lumina omogenă un cerc de hîrtie cu diametrul de un sfert de inch, iar în lumina solară albă, nerefractată, eterogenă am aşezat un alt cerc de hîrtie de aceeaşi mărime. Îndepărtîndu-mă de hîrtii la distanţa de cîteva picioare, am privit ambele cercuri printr-o prismă. Cercul luminat de lumina solară eterogenă apărea foarte alungit, ca în experienţa a patra, lungimea fiind de cîteva ori mai mare decît lăţimea, însă celălalt cerc, luminat cu lumină omogenă, apărea circular şi distinct definit, ca atunci cînd îl priveam cu ochiul liber. Aceasta confirmă întreaga propoziţie.

Experienţa 14. Am aşezat în lumina omogenă muşte şi alte obiecte mici de acest fel şi, privindu-le printr-o prismă, le vedeam părţile atît de distinct definite ca şi cînd le-aş fi privit cu ochiul liber. Aceleaşi obiecte le-am privit de asemenea printr-o prismă în lumina solară albă nerefractată, eterogenă, şi le-am văzut foarte confuz conturate, astfel că nu puteam distinge concret părţile lor mai mici de celelalte. Am aşezat de asemenea literele unei tipărituri mici o dată în lumina omogenă, iar apoi în cea eterogenă, şi, privindu-le printr-o prismă, ele apăreau în ultimul caz atît de confuze şi de nedistincte, încît nu le-am putut citi; în primul caz însă apăreau atît de distinct, încît le-am putut citi uşor; mi s-a părut că le văd aşa de clar ca şi cînd le-aş fi privit cu ochiul liber. În ambele cazuri am privit aceleaşi obiecte prin aceeaşi prismă la aceeaşi distanţă de mine şi în aceeaşi situaţie. Nu exista nici o diferenţă decît în lumina cu care erau luminate obiectele şi care într-un caz era simplă, iar în cealaltă compusă; prin urmare, viziunea clară în

primul caz şi confuză în ultimul nu putea proveni din nimic altceva decît de la acea diferenţă dintre lumini. Aceasta confirmă întreaga propoziţie.

În aceste trei experienţe mai este de remarcat că culoarea luminii omogene niciodată nu se schimba prin refracţie.

PROPOZIŢIA VI. TEOREMA V

Sinusul de incidenţă a fiecărei raze considerate separat este într-un raport dat faţă de sinusul său de refracţie.

Din cele spuse mai sus este evident că fiecare rază considerată separat are un anumit grad constant de refrangibilitate. Razele, care în prima refracţie, la incidenţe egale, sînt refractate mai mult, în următoarele refracţii, la incidenţe egale, sînt de asemenea refractate mai mult; la fel cele mai puţin refrangibile şi restul care au un anumit grad mijlociu de refrangibilitate, după cum rezultă din experienţele a cincea, a şasea, a şaptea, a opta şi a noua. Razele care prima dată, la incidenţe egale, sînt egal refractate tot la incidenţe egale sînt iarăşi egal şi uniform refractate, şi aceasta fie că sînt refractate înainte de a fi separate una de alta, ca în experienţa a cincea, fie că sînt refractate separat, ca în experienţele a douăsprezecea, a treisprezecea şi a patrusprezecea. Prin urmare, refracţia fiecărei raze separate este regulată şi acum vom arăta ce reguli urmează această refracţie *.

Autorii mai noi de tratate de optică ne învaţă că sinusurile de incidenţă sînt într-un raport dat către sinusurile de refracţie, aşa cum s-a explicat în axioma a cincea, iar unii, examinînd acest raport cu instrumente potrivite pentru măsurarea refracţiilor sau prin alte moduri de experimentare, ne informează că le-au găsit exacte. Dar în timp ce ei, neînţelegînd refrangibilitatea diferită a diverselor raze, le concep pe toate ca fiind refractate conform unuia şi aceluiaşi raport, este de presupus că măsurătorile lor erau făcute numai asupra mijlocului luminii refractate, astfel că din măsurătorile lor putem conchide că razele cu un grad mediu de refrangibilitate, adică acelea care atunci cînd sînt separate de rest apar verzi, sînt refractate conform raportului dat de sinusurile lor. De aceea noi vom arăta că se obţin rapoarte asemănătoare şi pentru tot restul. Este foarte rezonabil să fie aşa, deoarece natura este întotdeauna conformă cu ea

* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secţ. II.

însăşi; dar ar fi de dorit şi o verificare experimentală. O astfel de verificare va fi făcută dacă vom putea arăta că sinusurile de refracţie ale razelor cu refrangibilitate diferită sînt între ele într-un raport dat atunci cînd sinusurile lor de incidenţă sînt egale. Într-adevăr, dacă sinusurile de refracţie ale tuturor razelor sînt în rapoarte date către sinusul de refracţie a unei raze cu un grad mediu de refrangibi-

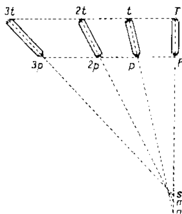


Fig. 26

litate şi acest sinus este într-un raport dat către sinusurile de incidenţă egale, celelalte sinusuri de refracţie vor fi de asemenea în rapoarte date către sinusurile de incidenţă egale. Dacă sinusurile de incidenţă sînt egale, din experienţa ce urmează va apărea că sinusurile de refracţie sînt într-un raport dat unul cu celălalt.

Experienţa 15. Soarele, luminînd într-o cameră întunecată printr-un mic orificiu rotund din oblonul ferestrei, formează (fig. 26) imaginea sa albă *S* pe peretele opus, datorită luminii directe, *PT* imaginea sa alungită, colorată datorită refracţiei aceleiaşi lumini printr-o prismă aşezată la fereastră, şi *pt* sau *2p 2t*, *3p 3t* imaginea sa alungită colorată, obţinută printr-o nouă refracţie laterală a aceleiaşi lumini cu o a doua prismă aşezată imediat după prima în poziţie încrucişată, aşa cum s-a explicat în experienţa a cincea, adică să zicem *pt* cînd refracţia prismei a doua este mică, *2p 2t* cînd refracţia ei este mai mare şi *3p 3t* cînd ea este cea mai

mare. Într-adevăr, aceasta va fi diversitatea refracţiilor dacă unghiul de refracţie a prismei a doua este de diferite mărimi, să presupunem de cincisprezece sau douăzeci de grade ca să formeze imaginea *pt* de treizeci sau patruzeci ca să formeze imaginea *2p 2t* şi de şasezeci ca să formeze imaginea *3p 3t*. Dar, din lipsă de prisme solide de sticlă cu unghiuri de mărimi convenabile, se pot utiliza vase făcute din plăci de sticlă şlefuite şi cimentate împreună sub formă de prisme şi umplute cu apă. Lucrînd în felul acesta, am observat că toate imaginile solare sau spectrele colorate *PT*, *pt*, *2p 2t*, *3p*, *3t* convergeau foarte aproape de poziţia *S* în care se forma imaginea albă şi rotundă în lumina solară directă cînd prismele erau înlăturate. Axa spectrului *PT*, adică linia trasală prin mijlocul lui paralel cu laturile sale rectilinii, dacă se prelungeşte trece exact prin mijlocul imaginii rotunde şi albe *S*. Iar cînd refracţia prismei a doua era mai mică decît refracţia celei dintîi, unghiurile de refracţie a ambelor fiind de aproximativ 60 de grade, prelungind axa spectrului *3p 3t* formată de acea refracţie, ea trecea de asemenea prin mijlocul aceleiaşi imagini albe şi rotunde *S*. Dar cînd refracţia prismei a doua era mai mică decît a celei dintîi, axele prelungite ale spectrelor *tp* sau *2t 2p* formate prin această refracţie tăiau axa prelungită a spectrului *TP* în punctele *m* şi *n*, puţin dincolo de centrul imaginii albe şi rotunde *S*. De aceea raportul liniei *3tT*/*3pP* era puţin mai mare decît raportul *2tT*/*2pP*, iar acest raport puţin mai mare decît *tT*/*pP*. Dacă lumina spectrului *PT* cade perpendicular pe perete, liniile *3tT*, *3pP* şi *2tT*, *2pP* şi *tT*, *pP* sînt tangentele refracţiilor şi, prin urmare, prin această experienţă se obţin rapoartele, tangentelor de refracţie, din care, fiind derivate rapoartele sinusurilor, devin egale, atît cît am putut aprecia privind spectrele şi folosind un raţionament matematic, căci eu nu am făcut un calcul exact. În măsura în care apare din experienţă, propoziţia este valabilă pentru fiecare rază în parte. Iar că aceasta este riguros adevărat se poate demonstra pe baza următoarei presupuneri : *corpurile refractă lumina prin acţiunea asupra razelor lor în linii perpendiculare pe suprafeţele lor*. Pentru a face această demonstraţie trebuie să descompun mişcarea fiecărei raze în două mişcări : una perpendiculară pe suprafaţa de refracţie şi alta paralelă cu ea şi în ceea ce priveşte mişcarea perpendiculară să stabilesc o astfel de propoziţie.

Dacă o mişcare sau un mobil oarecare cade cu orice viteză într-un spaţiu întins şi subţire, mărginit în ambele părţi de două plane paralele, şi în trecerea sa prin acest spaţiu este împins perpen-

Cambridge March 16th 1671.

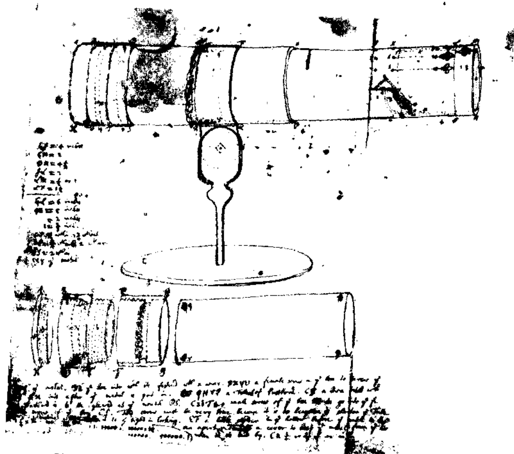
— The book wch my Carrier by forgetfulnesse disappointed me of the last week I have now received & thank you for it. With the Telescope wch I made I have sometimes seen remote objects & particularly the Moon very distinct in those parts of it wch were neare the sides of the visible angle. And at other times when it hath been otherwise put together it hath exhibited things not wthout some confusion wch difference I attributed chiefly to some imperfection that might possibly be either in the figure of ye metalls or eye glasse, & once I found it caused by a little tarnishing of the Metall in 4 or 5 days of moist weather.

One of the ffellows of or College is making such another Telescope wth wch last night I looked on Jupiter & he seemed as distinct & sharply defined as I have seen him in other Telescopes. When he hath finished it I will examin more strictly & send you an account of its performances, ffor it seemes to be something better then that wch I made.

Yor humble servant

I. Newton

Planșa II. Scrisoarea lui Newton către Oldenburg referitoare la telescop.



Planşa III. Desenul original al telescopului lui Newton şi al pieselor sale.

dicular spre planul mai îndepărtat de o forţă care la distanţe date de plan are o valoare dată, viteza perpendiculară a acestei mişcări sau mobil la ieşirea sa din acest spaţiu va fi întotdeauna egală cu rădăcina pătrată a sumei pătratului vitezei perpendiculare a acestei mişcări sau mobil la incidenţa sa pe acest spaţiu şi a pătratului vitezei perpendiculare pe care această mişcare sau mobil ar avea-o la emergenţa sa dacă la incidenţă viteza sa perpendiculară era infinit de mică.

Aceeaşi propoziţie este adevărată pentru orice mişcare sau mobil întîrziat perpendicular în trecerea sa prin acest spaţiu dacă în locul sumei celor două pătrate luăm diferenţa lor. Matematicienii vor afla uşor demonstraţia şi de aceea nu voi incomoda cititorul cu ea. Să presupunem acum că o rază, venind foarte oblic pe linia *MC* (fig. 1), este refractată în *C* de planul *RS* pe direcţia *CN* şi, dacă se cere să găsim linia *CE* în care se va refracta o altă rază oarecare *AC*, fie *MC*, *AD* sinusurile de incidenţă a celor două raze şi *NG*, *EF* sinusurile lor de refracţie şi fie mişcările egale ale razelor incidente reprezentate prin liniile egale *MC* şi *AC*, iar mişcarea *MC* fiind considerată ca paralelă cu planul de refracţie, să descompunem cealaltă mişcare *AC* în două mişcări, AD şi *DC*, dintre care una, *AD*, este paralelă, iar cealaltă, *DC*, perpendiculară pe suprafaţa de refracţie. Să presupunem în acelaşi fel că mişcările razelor emergente se descompun în două, dintre care cele perpendiculare sînt $\frac{MC}{NG}\,CG$ şi $\frac{AD}{EF}\,CF$. Dacă forţa planului de refracţie începe să acţioneze asupra razelor fie în acest plan, fie la o anumită distanţă de el într-o parte şi sfîrşeşte la o anumită distanţă de el de cealaltă parte, iar în toate poziţiile dintre aceste două limite acţionează asupra razelor după linii perpendiculare pe planul de refracţie, acţiunile asupra razelor la distanţe egale de planul de refracţie fiind egale, iar la distanţe inegale fiind sau egale sau inegale conform unui raport oarecare, mişcarea razei paralele cu planul de refracţie nu va suferi nici o schimbare din partea acestei forţe, dar mişcarea perpendiculară pe ea va fi schimbată conform regulii propoziţiei precedente. Prin urmare, dacă pentru viteza perpendiculară a razei emergente *CN* scriem $\frac{MC}{NG}\,CG$ ca mai sus, atunci viteza perpendiculară a unei alte raze emergente *CE*, care era $\frac{AD}{EF}\,CF$, va

fi egală cu rădăcina pătrată a lui $CDq + \frac{MCq}{NGq} CGq$. Ridicînd la pătrat aceste expresii egale şi adunînd valorile egale ADq şi $MCq - CDq$, apoi împărţind sumele cu egalele lor $CFq + EFq$ şi $CGq + NGq$, vom obţine $\frac{MCq}{NGq}$ egal cu $\frac{ADq}{EFq}$. De aici AD, sinusul de incidenţă, către EF sinusul de refracţie, este în acelaşi raport ca MC către NG, adică într-un raport dat. Această demonstraţie fiind generală, fără a determina ce este lumina sau de ce fel de forţă este refractată sau admiţînd orice alt lucru decît că corpul refractator acţionează asupra razelor în linii perpendiculare pe suprafaţa lui, eu o consider ca fiind un argument foarte convingător pentru întregul adevăr al acestei propoziţii.

Aşadar, dacă într-un anumit caz se găseşte *raportul* sinusurilor de incidenţă şi de refracţie pentru un anumit fel de raze, el este dat pentru toate cazurile; lucrul acesta se poate demonstra uşor prin metoda din propoziţia următoare.

PROPOZIŢIA VII. TEOREMA VI

Perfecţionarea telescoapelor este împiedicată de refrangibilitatea diferită a razelor de lumină.

Imperfecţiunea telescoapelor se atribuie în mod obişnuit formelor sferice a sticlelor şi de aceea matematicienii au propus să le dea forma de secţiuni conice. Pentru a le arăta că greşesc, am inserat această propoziţie: adevărul ei va apărea la măsurarea refracţiilor cîtorva feluri de raze; aceste măsuri le determin astfel:

În experienţa a treia a acestei prime părţi, unde unghiul de refracţie al prismei era de 62 1/2 grade, unghiul de incidenţă al razelor la ieşirea lor din sticlă în aer * este jumătatea acestui unghi, 31 de grade 15 minute, iar sinusul acestui unghi este 5 188, raza fiind 10 000 **. Cînd axa acestei prisme era paralelă cu orizontul şi refracţia razelor la incidenţa lor pe această prismă era egală cu refracţia la emergenţă, am observat cu ajutorul unui cvadrant *** unghiul pe care razele de refrangibilitate medie (adică acelea care mergeau

* Vezi Newton, Lectiones opticae, partea I, secţ. II, § 29.
** Newton ia ca valoare maximă a sinusului 10 000 în loc de 1.
*** Raportor.

spre mijlocul imaginii colorate a Soarelui) îl formează cu orizontul, şi din acest unghi şi din altitudinea Soarelui, observată în acelaşi timp, am aflat că unghiul pe care razele emergente îl formau cu cele incidente este de 44 de grade şi 40 de minute, iar jumătatea acestui unghi adunată cu unghiul de incidenţă de 31 de grade şi 15 minute dau unghiul de refracţie, care este, prin urmare, de 53 de grade şi 35 de minute, sinusul său fiind 8 047. Acestea sînt sinusurile de incidenţă şi de refracţie ale razelor cu refrangibilitate medie, iar raportul lor în cifre rotunde este de 20 la 31. Sticla acestei prisme avea o culoare care înclina spre verde. Ultima dintre prismele menţionate în experienţa a treia era din sticlă albă clară. Unghiul ei de refracţie era de 63 1/2 grade. Unghiul format de razele emergente cu cele incidente era de 45 de grade şi 50 de minute. Sinusul jumătăţii primului unghi era 5 262. Sinusul jumătăţii sumei unghiurilor era 8 157, iar raportul lor în cifre rotunde de 20 la 31, ca şi înainte.

Scăzînd din lungimea imaginii, care era de aproximativ 9 3/4 sau 10 inch, lărgimea sa, care era de 2 1/8 inch, restul de 7 3/4 inch era lungimea imaginii dacă Soarele ar fi un punct şi, prin urmare, ar subîntinde unghiul pe care razele mai mult sau mai puţin refrangibile, căzînd pe prismă în aceleaşi linii, îl formează între ele după emergenţa lor. De aceea acest unghi este de 2°0'7''. Într-adevăr, distanţa dintre imagine şi prismă cînd se forma acest unghi era de 18 1/2 picioare, iar la această distanţă coarda de 7 3/4 inch subîntindea un unghi de 2° 0'7''. Dar jumătatea acestuia este unghiul pe care-l făceau razele emergente cu razele emergente de refrangibilitate medie, şi un sfert din acesta, adică 30'2'', poate fi considerat unghiul pe care l-ar forma razele emergente de refrangibilitate medie dacă ar coincide cu ele în interiorul sticlei şi nu ar suferi nici o altă refracţie decît cea de la ieşirea din sticlă. Dacă două refracţii egale, una la incidenţa razelor pe prismă, iar cealaltă la emergenţa lor, formează jumătatea unghiului de 2°0'7'', una dintre aceste refracţii va forma aproximativ un sfert din acest unghi, şi acest sfert adunat şi scăzut din unghiul de refracţie al razelor de refrangibilitate medie, care era de 53°35', dă unghiurile de refracţie al razelor celor mai mult şi al celor mai puţin refrangibilile de 54° 5'2'' şi, respectiv, 53°4'58'', ale căror sinusuri sînt 8 099 şi 7 995, unghiul comun de incidenţă fiind de 31°15', iar sinusul său 5 188. Aceste sinusuri, luate în cele mai mici numere rotunjite, sînt unul către altul în raportul de 78 şi 77 către 50.

Dacă scădem acum sinusul comun de incidenţă 50 din sinusurile de refracţie 77 şi 78, resturile 27 şi 28 arată că la refracţii mici

refracția razelor cu refrangibilitatea cea mai mică este către refracția razelor cu refrangibilitate cea mai mare aproape de raportul 27/28 și că diferența dintre refracțiile razelor cu refrangibilitatea cea mai mică și cea mai mare este de aproximativ a 27 1/2-a parte din refracția totală a razelor de refrangibilitate medie.

De aici cei familiarizați cu optica vor înțelege ușor * că lărgimea celui mai mic spațiu circular, în care lentilele obiective ale telescoapelor pot strînge toate felurile de raze paralele, este de aproximativ a 27 1/2-a parte din jumătatea aperturii lentilei sau a 55-a parte a întregii aperturi și că focarul celor mai refrangibile raze este mai apropiat de lentila obiectiv decît focarul celor mai puțin refrangibile cu aproximativ a 27 1/2-a parte a distanței dintre lentila obiectivă și focarul razelor cu refrangibilitate medie.

Dacă razele de toate felurile venind dintr-un punct luminos oarecare pe axa oricărei lentile convexe converg după refracție prin lentilă în puncte nu prea depărtate de lentilă, focarul razelor celor mai refrangibile va fi mai apropiat de lentilă decît focarul celor mai puțin refrangibile cu o distanță care este a 27 1/2-a parte din distanța focarului razelor de refrangibilitate medie de la lentilă, aproximativ în raportul în care s-ar afla distanța dintre acel focar și punctul luminos de la care vin razele către distanța dintre acel punct luminos și lentilă.

Pentru a examina dacă diferența dintre refracțiile pe care le suferă razele cele mai refrangibile și cele mai puțin refrangibile care vin din același punct în lentilele obiective ale telescoapelor și altele asemănătoare este atît de mare cît s-a descris aici, am imaginat următoarea experiență.

Experiența 16. Lentila pe care am întrebuințat-o în experiența a doua și a opta, fiind așezată la o distanță de șase picioare și un inch de un obiectiv oarecare, forma imaginea acestui obiect prin razele de refrangibilitate medie de partea cealaltă a lentilei la distanța de șase picioare și un inch de lentilă. Prin urmare, după regula precedentă, ea trebuie să formeze imaginea acestui obiect în razele cele mai puțin refrangibile la distanța de șase picioare și 3 2/3 inch de la lentilă, iar în cele mai refrangibile la distanța de cinci picioare și 10 1/3 inch de ea, astfel că între cele două poziții în care razele cele mai puțin refrangibile și mai mult refrangibile formează imaginile să existe o distanță de aproximativ 5 1/3 inch. Potrivit acestei

* Vezi Newton, Lectiones opticae, partea I, secț. IV, prop. 37.

reguli, şase picioare şi un inch (distanţa lentilei de obiectul luminos) sînt faţă de douăsprezece picioare şi un inch (distanţa obiectului luminos de la focarul razelor de refrangibilitate medie) în raportul 1/2, iar a 27 1/2-a parte din şase picioare şi un inch (distanţa dintre lentilă şi acelaşi focar) către distanţa dintre focarul razelor celor mai refrangibile şi focarul celor mai puţin refrangibile este, prin urmare, de $5 \frac{17}{55}$ inch, adică foarte apropiată de 5 1/3 inch. Pentru a şti dacă această măsurătoare este justă, am repetat experienţa a doua şi a opta cu lumină colorată, care era mai puţin compusă decît aceea pe care am folosit-o mai devreme. Am separat razele eterogene unele de altele prin metoda descrisă în experienţa a unsprezecea, în aşa fel ca să obţin un spectru colorat a cărui lungime să fie de aproximativ douăsprezece sau cincisprezece ori mai mare decît lăţimea. Am lăsat să cadă acest spectru pe o carte tipărită şi, aşezînd lentila sus-amintită la distanţa de şase picioare şi un inch de acest spectru ca să formeze imaginile literelor luminate de partea cealaltă la aceeaşi distanţă a lentilei, am găsit că imaginile literelor luminate cu albastru erau mai apropiate de lentilă decît cele luminate cu roşu-închis cu aproximativ trei inch sau trei şi un sfert, pe cînd imaginile literelor luminate cu indigo şi violet apăreau atît de confuz şi de neclare, încît nu le-am putut citi. Apoi, examinînd prisma, am găsit că era plină de vine de la un capăt la celălalt al sticlei, astfel că refracţia nu putea fi regulată. De aceea am luat altă prismă fără vine şi în locul literelor am întrebuinţat două sau trei linii negre paralele, puţin mai largi decît caracterul literelor; lăsînd să cadă culorile pe aceste linii astfel încît liniile să treacă de-a lungul culorilor de la un capăt la celălalt al spectrului, am constatat că focarul unde indigoul sau limita dintre această culoare şi violet face ca imaginea liniilor negre să fie mai distinctă este cu aproximativ patru sau 4 1/4 inch mai apropiat de lentilă decît focarul unde roşul-închis formează o imagine mai distinctă a aceloraşi linii negre. Violetul era atît de slab şi de întunecat, încît n-am putut distinge clar imaginea liniilor pe această culoare; de aceea, avînd în vedere că prisma era făcută dintr-o sticlă de culoare închisă care înclina spre verde, am luat o altă prismă din sticlă clară albă; dar spectrul culorilor format de această prismă avea fîşii albe lungi de lumină pornind de la ambele capete ale culorilor, ceea ce m-a făcut să trag concluzia că ceva nu era în ordine; examinînd prisma, am descoperit două sau trei bule mici în sticlă care refractau lumina

neregulat. Din această cauză am acoperit partea respectivă a sticlei cu hîrtie neagră şi, lăsînd să treacă lumina prin cealaltă parte a ei în care nu existau astfel de bule, spectrul de culori era lipsit de orice fîşii neregulate de lumină, cum doream. Dar încă violetul era atît de întunecos şi slab, încît cu greu am putut vedea imaginile de linii pe violet şi absolut de loc în partea lui întunecată, mai apropiată de capătul spectrului. De aceea am presupus că această culoare slabă şi întunecată putea fi amestecată cu lumina dispersată care era refractată şi reflectată neregulat în parte de cîteva bule mici din sticlă şi, în parte, de inegalităţile şlefuirii ei. Lumina aceasta, deşi era puţină, totuşi fiind de culoare albă, putea fi suficientă ca să influenţeze vederea atît de puternic, încît să perturbe aspectul acestei culori violet slabă şi întunecată, şi de aceea am încercat, ca în experienţele a 12-a, a 13-a şi a 14-a, să văd dacă lumina acestei culori nu constă dintr-un amestec sensibil de raze eterogene şi am aflat că nu. Refracţiile nu au făcut să iasă nici o altă culoare sensibilă din această lumină decît violet, aşa cum ar fi făcut-o din lumina albă şi, în consecinţă, din această lumină violetă dacă ea ar fi fost în mod sensibil compusă cu lumină albă. De aceea am tras concluzia că motivul pentru care nu putem vedea clar imaginile liniilor în această culoare era numai întunecimea acestei culori, slăbirea luminii ei şi distanţa ei de la axa lentilei; am împărţit deci acele linii negre paralele în părţi egale şi prin aceasta am putut afla uşor distanţele reciproce dintre culorile spectrului. Am notat distanţele lentilelor la focarele acelor culori, în care se formau clar imaginile liniilor. Apoi am examinat dacă diferenţa dintre aceste distanţe poate egala mărimea 5 1/3 inch, care reprezintă diferenţa maximă dintre distanţele de la focarul roşului celui mai închis şi al violetului la lentilă, la fel cum distanţa dintre culorile observate în spectru se află în acelaşi raport faţă de distanţa cea mai mare dintre roşul cel mai închis şi violet, măsurate pe laturile rectilinii ale spectrului, adică lungimea acelor laturi sau excesul lungimii spectrului faţă de lăţimea lui. Observaţiile mele au fost următoarele.

Cînd am observat şi am comparat roşul cel mai închis perceptibil şi culorile de la limita dintre verde şi albastru, care pe laturile rectilinii ale spectrului erau depărtate de roşu, cu jumătatea lungimii acestor laturi, focarul unde limita dintre verde şi albastru proiecta distinct imaginile liniilor pe hîrtie era mai apropiat de lentilă decît de focarul unde roşul proiecta distinct acele linii cu aproximativ 2 1/2 sau 2 3/4 inch. Căci uneori valorile măsurătorilor erau ceva mai mari,

alteori ceva mai mici, dar rareori difereau una de alta cu mai mult de 1/3 inch. Într-adevăr, era foarte dificil de definit poziţiile focarelor fără o mică eroare. Dacă culorile depărtate cu jumătatea lungimii imaginii (măsurate pe laturile rectilinii) dau o diferenţă de 2 1/2 sau 2 3/4 inch între distanţele focarelor lor la lentilă, atunci culorile depărtate cu întreaga lungime este posibil să dea o diferenţă de 5 sau 5 1/2 inch între aceste distanţe.

Aici însă trebuie să notăm că nu am putut vedea roşul chiar pînă la capătul spectrului, ci numai la centrul semicercului care mărginea acest capăt sau ceva mai departe; prin urmare, am comparat acest roşu nu cu culoarea care se găsea exact în mijlocul spectrului sau la graniţa dintre verde şi albastru, ci cu aceea care cădea mai mult în albastru decît în verde. Deoarece am considerat că lungimea totală a culorilor nu este întreaga lungime a spectrului, ci lungimea laturilor lui rectilinii, completînd capetele semicirculare în cercuri cînd fiecare din culorile observate cădea în interiorul acelor cercuri, am măsurat distanţa culorii respective la capătul semicircular al spectrului şi, scăzînd jumătatea acestei distanţe din distanţa măsurată a celor două culori, am luat restul ca distanţă corectată; în aceste observaţii am considerat distanţa corectată în locul diferenţei dintre distanţele focarelor lor la lentilă. Într-adevăr, lungimea marginilor rectilinii ale spectrului ar fi întreaga lungime a tuturor culorilor dacă cercurile din care (după cum am arătat) constă acest spectru s-ar contracta şi s-ar reduce la puncte fizice, la fel, această distanţă corectată ar fi şi în acest caz distanţa reală dintre cele două culori observate.

Mai departe am observat că roşul cel mai închis care putea fi văzut şi albastrul a cărui distanţă corectată era a 7/12-a parte din lumina laturilor rectilinii ale spectrului dădeau o diferenţă între distanţele focarelor lor la lentilă de aproximativ 3 1/4 inch, iar raportul 7/12, era la fel ca raportul $\frac{3\,1/4}{5\,4/7}$.

Cînd am observat roşul cel mai închis care putea fi văzut şi indigoul a cărui distanţă corectată era 8/12 sau 2/3 din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului, diferenţa distanţelor focarelor lor la lentilă era de aproximativ 3 2/3 inch, iar raportul 2/3 era la fel ca raportul $\frac{3\,2/3}{5\,1/2}$.

Cînd am observat roşul cel mai închis care putea fi văzut şi acel indigo închis pentru care distanţa corectată între una şi alta era 9/12

sau 3/4 din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului, diferenţa distanţelor focarelor lor la lentilă era de aproximativ 4 inch, raportul 3/4 fiind la fel ca raportul $\frac{4}{5\,1/3}$.

Atunci cînd am observat roşul cel mai închis care putea fi văzut şi acea parte a violetului care era cea mai apropiată de indigo, situat la o distanţă corectată pînă la roşu de 10/12 sau 5/6 din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului, diferenţa distanţelor focarelor lor la lentile era de aproximativ 4 1/2 inch, iar raportul 5/6 era la fel ca raportul $\frac{4\,1/2}{5\,2/5}$. Uneori cînd lentila era aşezată în mod potrivit astfel încît axa ei să fie îndreptată spre albastru şi, în plus, toate lucrurile aşezate cum trebuie, iar Soarele lumina clar, şi mi-am apropiat ochiul foarte mult de hîrtia pe care lentila proiecta imaginile liniilor, am putut vedea destul de distinct imaginile liniilor pe partea violetului mai aproape de indigo; cîteodată le-am putut vedea chiar pe jumătatea violetului. Într-adevăr, făcînd aceste experienţe, am observat că apăreau distincte numai imaginile culorilor situate pe sau aproape de axa lentilei; astfel că, dacă albastrul sau indigoul erau pe axă, puteam vedea imaginile lor distinct, însă roşul apărea atunci mult mai puţin distinct decît înainte. În consecinţă, am încercat să fac ca spectrul culorilor să fie mai scurt decît înainte astfel încît ambele lui capete să poată fi mai aproape de axa lentilei. În acest caz lungimea lui devenea de aproximativ 2 1/2 inch, iar lăţimea de aproximativ 1/5 sau 1/6 dintr-un inch. De asemenea, în loc de liniile negre pe care era proiectat spectrul, am făcut o singură linie neagră, mai largă decît acelea, astfel încît îi puteam vedea imaginea mai uşor, şi am împărţit în părţi egale această linie cu linii transversale scurte pentru a putea măsura distanţele culorilor observate. Astfel am putut vedea uneori imaginile acestei linii cu diviziunile ei aproape pînă în centrul capătului semicircular violet al spectrului şi am făcut observaţiile care vor urma.

Cînd am observat roşul cel mai închis şi partea violetului a cărei distanţă corectată pînă la el era de aproximativ 8/9 părţi din laturile rectilinii ale spectrului, diferenţa distanţelor focarelor acelor culori la lentilă era odată 4 2/3, altă dată 4 3/4 şi altă dată 4 7/8 inch; raportul 8/9 era de 4 2/3, 4 3/4 sau respectiv 4 7/8 către 5 1/4 sau 5 11/32 sau 5 11/64

Cînd am observat roşul cel mai închis şi violetul cel mai închis care putea fi văzut, culori ale căror distanţe corectate în situaţia cea mai favorabilă şi cînd Soarele lumina foarte clar era de aproximativ 11/12 sau 15/16 părţi din lungimea laturilor rectilinii ale spectrului colorat, am constatat că diferenţa dintre distanţele focarelor lor la lentilă era uneori 4 3/4, alteori 5 1/4 şi de cele mai multe ori aproximativ 5 inch şi raportul 11/12 sau 15/16 era la fel ca raportul $\frac{5}{5\ 1/2}$ inch sau 5 1/3 inch.

Prin această serie de experienţe m-am convins că, dacă lumina de la capetele adevărate ale spectrului ar fi fost suficient de puternică pentru a face ca imaginile liniilor negre să apară clare pe hîrtie, focarul celui mai închis violet s-ar fi aflat mai aproape de lentilă decît focarul celui mai închis roşu cu cel puţin 5 1/3 inch. Aceasta este o nouă dovadă că sinusurile de incidenţă şi de refracţie ale diverselor feluri de raze se află în acelaşi raport unul faţă de altul în refracţiile cele mai mici ca şi în cele mai mari.

Am expus mai pe larg procedeul meu în efectuarea acestei experienţe delicate şi obositoare pentru ca cei care vor încerca după mine să ştie de cîtă atenţie este nevoie pentru a o realiza cu succes. Iar dacă ei nu o vor putea face cu atîta succes ca mine, totuşi pot trage concluzia din raportul distanţei culorilor spectrului către diferenţa distanţelor focarelor lor la lentilă care ar fi rezultatul bun în cazul culorilor mai îndepărtate într-o experienţă mai reuşită. Dacă însă ei vor folosi o lentilă mai mare decît mine şi o vor fixa de un băţ lung şi drept cu ajutorul căruia o pot îndrepta uşor şi direct spre culoarea al cărei focar îl doresc, nu mă îndoiesc că experienţa le va reuşi mai bine decît mie. Căci eu am îndreptat axa cît am putut mai aproape de mijlocul culorilor, dar atunci — extremităţile neclare ale spectrului fiind îndepărtate de axă — lentilele proiectează imaginile lor pe hîrtie mai puţin distinct decît dacă axa ar fi fost îndreptată succesiv spre ele.

Din cele spuse este evident că razele care diferă în refrangibilitate nu converg în acelaşi focar, dar dacă ele vin dintr-un punct luminos de la aceeaşi depărtare dintr-o parte a lentilei, iar focarele se află de cealaltă parte, focarul razelor celor mai refrangibile va fi mai apropiat de lentilă decît al celor mai puţin refrangibile cu mai mult de a 14-a parte a întregii distanţe; dacă ele vin de la un punct luminos atît de îndepărtat de lentilă încît înainte de incidenţa lor pot fi considerate paralele, focarul razelor celor mai refrangibile va fi

mai aproape de lentilă decît focarul celor mai puțin refrangibile cu aproximativ a 27-a sau a 28-a parte din distanța totală de la ea. Diametrul cercului din spațiul mijlociu dintre cele două focare pe care le luminează cînd cad pe un plan oarecare perpendicular pe axă (care este cel mai mic cerc în care ele pot fi toate adunate) este aproape de a 55-a parte din diametrul aperturii lentilei. În acest fel e surprinzător faptul că telescoapele reprezintă obiectele atît de distinct cum se observă. Dar dacă toate razele de lumină ar fi la fel de refrangibile, eroarea provenind numai de la sfericitatea formelor lentilelor ar fi de cîteva sute de ori mai mică. Într-adevăr, dacă obiectivul telescopului este plan-convex, iar fața plană este îndreptată spre obiect și diametrul sferei din care această lentilă este doar un segment este D, iar semidiametrul aperturii lentilei este S, sinusul de incidență la ieșirea din sticlă în aer către sinusul de refracție se află în același raport ca I/R; razele care vin paralele cu axa lentilei în locul unde imaginea obiectului este mai distinctă vor fi răspîndite toate pe un mic cerc, al cărui diametru este foarte aproximativ $\frac{Rq}{Iq} \times \frac{S_{cub}}{D_{pătrat}}$*, la fel cum pot deduce calculînd erorile razelor prin metoda seriilor infinite și lăsînd la o parte termenii ale căror valori sînt neglijabile. Așa, de exemplu, dacă sinusul de incidență I este către sinusul de refracție R în raportul 20/31 și dacă diametrul D al sferei căreia îi aparține partea convexă a lentilei este de 100 picioare sau 1 200 inch, iar semidiametrul S al aperturii este de doi inch, atunci diametrul cercului mic $\left(\text{adică } \frac{Rq \times S_{cub}}{Iq \times D_{pătrat}}\right)$ va fi a $\frac{31 \times 31 \times 8}{20 \times 20 \times 1\,200 \times 1\,200}$ $\left(\text{sau } \frac{961}{72\,000\,000}\right)$-a parte dintr-un inch. Dar diametrul cercului mic, prin care sînt răspîndite aceste raze de refrangibilitate inegală, va fi aproximativ a 55-a parte a aperturii lentilei obiective, care aici este de patru inch. De aceea eroarea provenită de la forma sferică a sticlei raportată la eroarea provenită de la refrangibilitatea diferită a razelor este ca raportul între $\frac{961}{72\,000\,000}$ și $\frac{4}{55}$, adică în raportul 1/5 449; prin urmare, fiind relativ atît de mică, nu merită a fi luată în considerare.

---

*Vezi Newton, Lectiones opticae, partea I, secț. IV, prop. 31.

Dar, veţi spune, dacă erorile cauzate de refrangibilitatea diferită sînt aşa de mari, cum se face că obiectele apar prin telescoape atît de distincte? Eu răspund că aceasta e din cauză că razele defectuoase nu sînt răspîndite uniform pe întreg spaţiul circular, ci sînt adunate infinit mai dens în centru decît în orice altă parte a cercului şi în drumul de la centru spre circumferinţă devin din ce în ce mai rare, astfel încît la circumferinţă devin infinit de rare; din cauza rarităţii lor nu sînt suficient de intense pentru a fi vizibile în afară de centru şi foarte aproape de el. Fie *ADE* (fig. 27) unul dintre cercurile descrise cu centrul *C* şi semidiametrul *AC*, fie *BFG* un cerc mai mic concentric cu primul, intersectînd cu circumferinţa sa diametrul *AC* în *B*, şi fie *N* la jumătatea lui *AC*; după calculul meu, raportul între densitatea luminii într-un loc oarecare *B* şi densitatea ei în *N* va fi ca *AB*/*BC*; lumina totală din interiorul cercului mai mic *BFC* va fi către lumina totală din cercul mai mare *AED* în raportul în care se află diferenţa pătratului lui *AC* faţă de pătratul lui *AB* către pătratul lui *AC*. Dacă, de exemplu, *BC* este a cincea parte a lui *AC*, lumina va fi de patru ori mai densă în *B* decît în *N* şi lumina totală din cercul mai mic va fi către lumina totală din cel mai mare ca 9/25. De aici rezultă evident faptul că lumina din interiorul cercului mic trebuie să poată fi percepută mult mai puternic decît lumina slabă şi dilatată de jur împrejur din spaţiul dintre cercul mic şi circumferinţa celui mai mare.

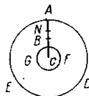


Fig. 27

Dar să mai notăm că cele mai luminoase dintre culorile prismatice sînt galbenul şi portocaliul. Acestea afectează simţurile mai intens decît toate celelalte împreună, iar după ele urmează ca intensitate roşul şi verdele. Albastrul comparat cu acestea este o culoare slabă şi închisă, iar indigoul şi violetul sînt mult mai închise şi mai slabe, astfel că acestea, comparate cu culorile mai intense, abia pot fi luate în considerare. Imaginile obiectelor nu trebuie deci situate în focarul razelor de refrangibilitate medie, care sînt la limita dintre verde şi albastru ci în focarul razelor situate la mijloc, între portocaliu şi galben, acolo unde culoarea este mai luminoasă şi mai strălucitoare, adică în galbenul cel mai strălucitor, care înclină mai mult spre portocaliu decît spre verde. Prin refracţia acestor raze (al căror sinusuri de incidenţă şi de refracţie în sticlă sînt 17 şi 11) trebuie măsurată refracţia sticlei şi a cristalului care se utilizează în optică. Să aşe-

zăm deci imaginea obiectului în focarul acestor raze; atunci tot galbenul şi portocaliul va cădea în interiorul unui cerc al cărui diametru este de aproximativ a 250-a parte din diametrul aperturii sticlei. Dacă adăugaţi jumătatea mai luminoasă a roşului (mai aproape de portocaliu) şi jumătatea mai luminoasă a verdelui (mai apropiată de galben), aproximativ trei cincimi a luminii acestor două culori vor cădea în acelaşi cerc, iar două cincimi vor cădea în afară de jur împrejur; cele care cad în afară vor fi răspîndite într-un spaţiu aproape tot atît de mare ca şi cele care cad în interior, şi de aceea în general vor fi aproape de trei ori mai rare. Din cealaltă jumătate a roşului şi verdelui (adică a roşului foarte închis şi a verdelui de culoarea salciei) aproape un sfert va cădea în interiorul acestui cerc şi trei pătrimi în afara lui, iar cele care cad în afară vor fi răspîndite pe un spaţiu aproximativ de patru sau de cinci ori mai mare decît cele care cad în interior; de aceea în general sînt mai rare şi, dacă le comparăm cu lumina totală din interior, vor fi aproximativ de 25 de ori mai rare decît toate luate în general sau mai bine de 30 sau 40 de ori mai rare, din cauză că roşul -închis de la capătul spectrului de culori format cu ajutorul unei prisme este foarte îngust şi rar, iar verdele de culoarea salciei este ceva mai rar decît portocaliul şi galbenul. De aceea lumina acestor culori, fiind cu mult mai rară decît cea din interiorul cercului, va afecta mai slab simţurile, în special pentru că roşul-închis şi verdele de culoarea salciei al acestei lumini sînt culori mult mai închise decît celelalte. Din acelaşi motiv, albastrul şi violetul fiind culori mult mai închise decît acestea şi mult mai puţin intense, pot fi neglijate. Lumina densă şi strălucitoare din cerc va întuneca lumina rară şi slabă a culorilor închise din jurul lui, făcîndu-le aproape imperceptibile. Prin urmare, imaginea perceptibilă a unui punct luminos este doar cu ceva mai largă decît un cerc al cărui diametru este a 250-a parte din diametrul aperturii lentilei obiective a unui telescop bun sau nu cu mult mai largă dacă nu consideraţi şi lumina slabă şi întunecoasă ceţoasă de jur împrejurul ei pe care un observator abia o poate vedea. De aceea într-un telescop a cărei apertură este de patru inch şi lungimea de o sută de picioare, imaginea nu depăşeşte 2″45‴ sau 3″. Iar într-un telescop a cărui apertură este de doi inch şi lungimea de 20 sau 30 de picioare, ea poate fi de 5″ sau 6″ şi rareori mai mare. Aceasta corespunde bine experienţei: într-adevăr, unii astronomi au aflat diametrele stelelor fixe cu telescoape de lungime între 20 şi 60 de picioare ca fiind de aproximativ 5″ sau 6″ ori cel mult 8″ sau 10″ în diametru. Dar dacă lentila-ocular se

colorează cu funingine de lampă sau de torță pentru a întuneca lumina stelei, lumina mai slabă de la circumferința stelei încetează a fi vizibilă, iar steaua (dacă lentila este suficient de înnegrită cu funingine) apare mai mult asemănătoare cu un punct matematic. Din același motiv, o parte enormă a luminii din jurul fiecărui punct luminos va fi mai puțin discernibilă în telescoapele mai scurte decît în cele mai lungi, fiindcă cele mai scurte transmit mai puțină lumină ochiului.

Stelele fixe, datorită distanțeler lor enorme, apar ca puncte dacă lumina lor nu este dilatată prin refracție; se poate constata și din faptul că Luna, trecînd peste ele, le eclipsează, dar lumina lor nu dispare gradat, ca a planetelor, ci dintr-o dată, iar la sfîrșitul eclipsei devin vizibile tot dintr-o dată sau, desigur, într-un timp mai scurt decît o secundă; refracția atmosferei Lunii prelungește însă puțin timpul după care lumina stelei dispare și după care ea devine iarăși vizibilă.

Dacă presupunem că imaginea perceptibilă a unui punct luminos este chiar de 250 de ori mai mică decît apertura lentilei, totuși această imagine va fi cu mult mai mare decît dacă ea ar proveni de la forma sferică a lentilei, căci, chiar dacă razele nu ar avea refrangibilitate diferită, lățimea acestei imagini printr-un telescop pe 100 de picioare, a cărei apertură este de 4 inch, ar fi a $\frac{961}{72\,000\,000}$-a parte dintr-un inch, așa cum reiese din calculul precedent. De aceea, în acest caz, cele mai mari erori care provin de la forma sferică a lentilei vor fi față de cele mai mari erori observabile care provin de la refrangibilitatea diferită a razelor în raportul între $\frac{961}{72\,000\,000}$ și cel mult $\frac{4}{250}$, adică numai ca 1/1 200. Aceasta arată în mod suficient că nu formele sferice ale lentilelor, ci refrangibilitatea diferită a razelor este ceea ce împiedică perfecționarea telescoapelor.

Mai există și un alt argument din care poate apărea că refrangibilitatea diferită a razelor este adevărata cauză a imperfecțiunii telescoapelor. Într-adevăr, erorile razelor provenind din formele sferice ale lentilelor-obiectiv, sînt proporționale cu cuburile aperturilor lentilelor-obiectiv, și de aceea, pentru a face ca telescoapele de diferite lungimi să mărească cu egală claritate apertura lentilelor-obiectiv,

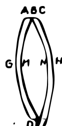


Fig. 28

forța sau puterea de mărire trebuie să fie proporțională cu cuburile rădăcinilor pătrate ale lungimilor lor, ceea ce nu corespunde experienței. Dar erorile razelor provenind de la refrangibilitatea lor diferită sînt proporționale cu aperturile lentilelor-obiectiv; de aceea pentru a face ca telescoapele de diferite lungimi să mărească cu egală claritate, aperturile și puterile lor trebuie să fie proporționale cu rădăcinile pătrate ale lungimilor lor; aceasta corespunde bine, după cum se știe, cu experiența. De exemplu, un telescop de 64 de picioare lungime și cu o apertură de 2 2/3 inch mărește de aproximativ 120 de ori, cu aceeași claritate ca unul cu o lungime de un picior și cu o apertură de 1/3 dintr-un inch care mărește de 15 ori.

Dacă nu ar exista această refrangibilitate diferită a razelor, telescoapele ar putea fi duse la o perfecțiune mai mare decît cea descrisă de mine, compunînd lentila obiectiv din două lentile cu apă între ele. Fie *ADFC* (fig. 28) lentila obiectiv formată din două lentile *ABED* și *BEFC*, cu aceeași convexitate pe fețele exterioare *AGD* și *CHF* și aceeași concavitate pe cele interioare *BME*, *BNE*, cu apă în concavitatea *BMEN*. Fie sinusul de incidență la ieșirea din sticlă în aer egal cu raportul I/R, iar din apă în aer cu raportul K/R, și deci la ieșirea din sticlă în apă cu raportul I/K; fie *D* diametrul sferei din care s-au șlefuit fețele convexe *AGD* și *CHF*, iar diametrul sferei din care s-au șlefuit fețele concave *BME* și *BNE* față de *D* să se afle în același raport în care se află rădăcina cubică a lui $KK - KI$ către rădăcina cubică a lui $RK - RI$; refracțiile de pe fețele concave ale lentilelor vor corecta foarte mult erorile refracțiilor de pe fețele convexe în măsura în care ele provin din sfericitatea figurii. În acest fel s-ar putea ajunge la o perfecționare suficientă a telescoapelor dacă nu ar exista refrangibilitatea diferită a diverselor feluri de raze. Din cauza acestei refrangibilități diferite, încă nu văd vreun alt mijloc de îmbunătățire a telescoapelor numai prin refracții decît acela al măririi lungimii lor, pentru care scop ultima invenție a lui *Hugenius* * pare a fi foarte potrivită **. Într-adevăr, tuburile prea lungi sînt greoaie și rareori ușor de manevrat, iar din cauza lungimii lor se îndoaie ușor și oscilează, astfel că se produce o continuă tremurare a obiectelor, din care cauză

* Numele latinizat a lui Huygens.
** Ocularul compus a lui Huygens.

ele cu greu pot fi văzute distinct, în timp ce cu ajutorul dispozitivului său lentilele sînt uşor de manevrat iar lentila-obiectiv, fiind fixată pe un stîlp vertical puternic, devine mai fixă.

Văzînd deci că perfecţionarea telescoapelor de lungimi date prin refracţie este foarte greu de obţinut, am imaginat odinioară * perspectiva ** folosirii reflexiei unui metal concav în locul lentilei-obiectiv. Diametrul sferei după care era şlefuit metalul concav era de aproximativ 25 de inch şi, în consecinţă, lungimea instrumentului aproximativ de şase inch şi un sfert. Lentila-ocular era plan-convexă, iar diametrul sferei după care s-a lucrat partea convexă era aproximativ de 1/5 dintr-un inch sau ceva mai mic, şi, în consecinţă, mărea de 30 sau 40 de ori. Printr-o altă metodă de măsurare am găsit că el mărea de aproximativ 35 de ori. Metalul concav avea o apertură de un inch şi o treime; dar aceasta nu era limitată de un cerc opac care să acopere marginea metalului de jur împrejur, ci de un cerc opac plasat între lentila ocular şi ochi şi avînd în mijloc un mic orificiu rotund pentru ca razele să treacă prin el la ochi. Într-adevăr, acest cerc, fiind aşezat aici, opreşte o mare cantitate din lumina difuză, care altfel ar fi deranjat vederea. Comparînd acest instrument cu unul de foarte bună perspectivă cu o lungime de patru picioare realizat cu o lentilă-ocular concavă, am putut citi cu instrumentul meu la o distanţă mai mare decît cu cel cu lentila. Totuşi, obiectele apăreau mai întunecate cu el decît cu cel cu lentilă, din cauză, pe de o parte, că s-a pierdut mai multă lumină prin reflexia în metal decît prin refracţia în lentilă şi, pe de o parte, că instrumentul meu a fost supradimensionat. Dacă ar fi mărit numai de 30 sau 25 de ori, ar fi făcut ca obiectul să apară mai viu şi mai plăcut. Am făcut două astfel de instrumente acum vreo 16 ani şi mai am încă la mine unul dintre ele, prin care

* Newton a început să se ocupe de problema telescopului cu oglindă în anul 1688. El nu s-a considerat inventatorul acestui telescop afirmînd că a cunoscut descrierea unui astfel de instrument din *Optica promota* a lui James Gregory, tipărită în 1663, iar el numai a modificat schema acestuia perfecţionînd-o. Newton are însă faţă de Gregory avantajul că nu s-a limitat la schemă, ci a construit primul telescop cu oglindă care se numeşte *telescopul lui Newton*. Instrumentul a fost confecţionat de însuşi Newton şi descris de el într-o scrisoare din 23 februarie 1669. adresată unui prieten. La sfîrşitul aceluiaşi an a trimis un exemplar Societăţii Regale, care în şedinţa sa din 11 ianuarie l-a ales membru al ei. Acest exemplar (al doilea confecţionat de mîna sa proprie) se află în Biblioteca Societăţii Regale şi poartă inscripţia : *Invented by Isaac Newton and made with his own hands, 1671.*

** Newton ca şi ceilalţi contemporani ai săi a folosit, ternenul de *perspective* sau *prospective* în înţelesul de dispozitiv, proiect sau schemă.

pot dovedi adevărul celor scrise, însă acesta nici nu e atît de bun ca primul. Metalul concav şi-a pierdut luciul de cîteva ori şi a fost lustruit din nou prin frecare cu o piele foarte moale. Cînd am făcut lucrul acesta, un meşter din Londra a încercat să-l imite; dar, folosind un alt mod de şlefuire decît mine, a rămas cu mult înapoia rezultatelor mele, după cum am aflat mai tîrziu, discutînd cu un muncitor angajat la el. Procedeul meu de şlefuire era următorul. Am luat două plăci rotunde de cupru, fiecare cu diametrul de şase inch, una convexă, cealaltă concavă, potrivite foarte exact una faţă de cealaltă. Pe cea convexă am frecat metalul obiectiv sau concav care trebuia să fie şlefuit pînă cînd lua forma celui convex şi era gata de şlefuit. Apoi am acoperit pe cel convex cu un strat subţire, picurînd pe el smoală topită şi încălzindu-l pentru a înmuia smoala, în timp ce îl frecam cu o bucată concavă de cupru umezită pentru a întinde smoala uniform pe toată partea convexă. Astfel, lucrînd-o bine, am făcut-o atît de subţire ca o piesă de patru pence, iar după ce metalul convex a fost răcit l-am frecat din nou pentru a-i da forma cea mai exactă posibilă. Apoi am luat chit, pe care l-am făcut foarte fin prin spălarea lui de particulele mai mari, şi, întinzînd puţin din acesta pe smoală, l-am frecat de smoală cu partea concavă a cuprului, pînă cînd nu mai dădea nici un pocnet, apoi am frecat pe smoală metalul obiectiv cu o mişcare rapidă timp de vreo două sau trei minute, apăsîndu-l puternic pe ea. Am pus apoi chit proaspăt pe smoală şi l-am frecat din nou pînă cînd nu mai pocnea şi apoi am frecat metalul obiectiv pe ea ca şi mai înainte. Această operaţie am repetat-o pînă ce metalul era şlefuit, frecîndu-l ultima dată cu toată puterea cîtăva vreme şi suflînd deseori asupra smoalei pentru a-i menţine umezeala fără a-l mai acoperi cu chit proaspăt. Metalul-obiectiv avea doi inch lăţime şi aproximativ o treime de inch grosime, pentru a-l feri de îndoire. Aveam două metale de acest fel şi, cînd le-am şlefuit pe amîndouă, am încercat care este cel mai bun şi l-am prelucrat pe celălalt din nou pentru a vedea dacă l-aş putea face mai bun decît acela pe care-l aveam. În acest fel, prin multe încercări, mi-am însuşit metoda de şlefuire pînă cînd am făcut cele două telescoape de reflexie de care am vorbit mai sus. Această metodă de şlefuire se va învăţa mai bine prin practică repetată decît prin descrierea mea. Înainte de a freca metalul obiectiv pe smoală, totdeauna am frecat chitul pe ea cu cuprul concav pînă ce o făceam să pocnească, fiindcă, dacă părticelele de chit nu erau făcute prin acest mod să se fixeze repede în chit, ele, prin rostogolirea încoace

şi încolo, ar fi zgîriat şi, frecînd metalul obiectiv, l-ar fi umplut în întregime cu găuri mici.

Dar fiindcă metalul este mai greu de şlefuit decît sticla şi apoi foarte capabil de a-şi pierde luciul şi nu reflectă aşa de multă lumină ca sticla amalgamată, aş propune să se folosească în locul metalului o sticlă şlefuită, concavă pe partea anterioară şi tot atît de convexă pe cea posterioară şi amalgamată pe partea convexă. Sticla trebuie să fie pretutindeni exact de aceeaşi grosime, altfel obiectele se vor vedea colorate şi neclare. Cu o astfel de sticlă am încercat acum cinci sau şase ani în urmă să fac un telescop cu reflexie de patru picioare lungime care să mărească de aproximativ 150 de ori şi m-am convins că nu lipseşte altceva decît un maestru bun care să ducă planul la perfecţiune. Căci sticla fiind lucrată de unul din meşterii noştri din Londra în acelaşi fel în care şlefuia sticla pentru telescoape şi cu toate că părea la fel de bine lucrată cum erau de obicei lentilele-obiectiv, totuşi, cînd era amalgamată, reflexia scotea la iveală nenumărate inegalităţi pe toată întinderea sticlei. Din cauza acestor inegalităţi, obiectele apăreau neclare în acest instrument. Erorile razelor reflectate cauzate de unele inegalităţi ale sticlei sînt aproximativ de şase ori mai mari decît erorile razelor refractate cauzate de inegalităţi asemănătoare. Din această experienţă m-am mai convins că reflexia pe partea concavă a sticlei, de care mă temeam să nu strice viziunea, nu o influenţează atît de sensibil şi, în consecinţă, nimic nu lipseşte pentru perfecţionarea acestor telescoape decît un muncitor bun care să poată să şlefuiască şi să polarizeze sticle exact sferice. Eu am îmbunătăţit odinioară considerabil o lentilă obiectiv a unui telescop de patrusprezece picioare, executată de un meşter din Londra, şlefuind-o pe smoală cu chit şi apăsînd-o foarte uşor în timpul şlefuirii pentru ca chitul să n-o zgîrie. Încă nu am încercat să văd dacă acest procedeu nu e destul de bun pentru şlefuirea acestor sticle de reflexie. Dar cel care va încerca acest mod de şlefuire sau altul pe care îl crede mai bun va face bine să-şi prepare sticlele pentru polizare frecîndu-le fără violenţa cu care muncitorii noştri din Londra presează sticla în timpul şlefuirii. Într-adevăr, printr-o astfel de apăsare violentă, sticlele sînt în stare să se îndoaie puţin prin şlefuire şi o astfel de îndoire le va strica forma. De aceea, pentru a atrage atenţia asupra acestor sticle reflectatoare meşterilor care vor să se ocupe cu oglinzile reflectatoare, voi descrie acest instrument optic în propoziţia următoare.

PROPOZIŢIA VIII. PROBLEMA II

Scurtarea telescoapelor

Fie *ABCD* (fig. 29) o oglindă sferică concavă în partea anterioară *AB* şi atît de convexă în cea posterioară *CD* încît să aibă pretutindeni aceeaşi grosime. Să nu fie mai groasă într-o parte decît în cealaltă ca să nu facă ca obiectele să apară colorate şi neclare

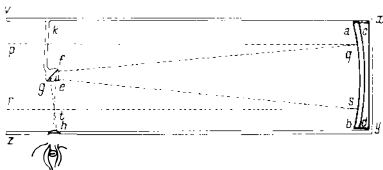


Fig. 29

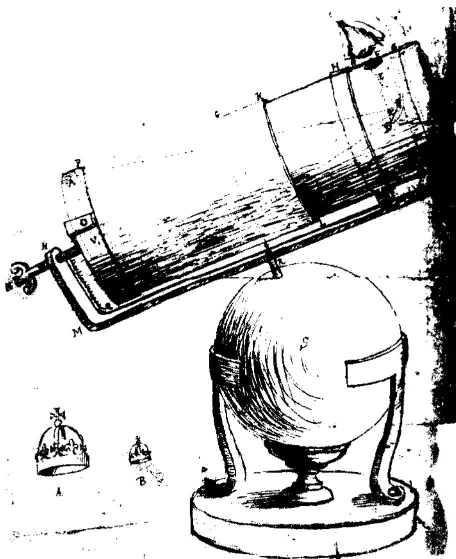
şi să fie foarte bine lucrată şi amalgamată în partea posterioară; s-o plasăm în tubul *VXYZ*, care trebuie să fie foarte bine înnegrit în interior. Fie *EFG* o prismă de sticlă sau de cristal situată aproape de celălalt capăt al tubului, în mijlocul lui, prin mijlocirea unui mîner de alamă sau de fier, la capătul plat al căruia este fixată. Fie prisma dreptunghiulară în *E* şi celelalte două unghiuri din *F* şi *G* exact egale între ele şi, în concecinţă, fiecare egal cu o jumătate de unghi drept şi fie feţele plane *FE* şi *GE* pătrate şi deci faţa a treia *FG* un paralelogram dreptunghic, a cărui lungime este către lăţime în acelaşi raport ca rădăcina pătrată a raportului 2/1. S-o plasăm în tub în aşa fel ca axa oglinzii să poată trece perpendicular prin mijlocul feţei pătrate *EF* şi, în consecinţă, sub un unghi de 45° prin mijlocul feţei *FG* şi fie faţa *EF* întoarsă spre oglindă, iar distanţa prismei la oglindă să fie astfel încît razele de lumină *PQ*, *RS* etc., care cad pe oglindă paralel cu axa, să poată intra în prismă prin faţa *EF* şi să se reflecte pe latura *FG* şi apoi să iasă din ea prin latura *GE* spre punctul *T*, care trebuie să fie focarul comun al oglinzii

ABDC şi al unui ocular plan-convex *H* prin care aceste raze trebuie să ajungă la ochi. Razele la ieşirea lor din oglindă trec printr-un orificiu rotund şi îngust sau printr-o apertură făcută într-o placă mică de plumb, alamă sau argint cu care trebuie acoperită sticla; orificiul nu trebuie să fie mai mare decît este necesar ca să poată trece suficientă lumină prin el. În acest fel obiectul apare distinct, căci placa este făcută să intercepteze toată partea defectuasă a luminii care vine de la marginile oglinzii *AB*. Un astfel de instrument foarte bine cunoscut, dacă are lungimea de şase picioare (socotind lungimea de la oglindă la prismă şi apoi la focarul *T*), va avea o apertură de şase inch la oglindă şi va mări între două şi trei sute de ori. Dar orificiul *H* limitează apertura mai avantajos decît dacă ar fi aşezat la oglindă. Dacă instrumentul se lungeşte sau se scurtează, apertura trebuie să fie proporţională cu cubul rădăcinii a patra a lungimii, iar mărimea cu apertura. Este însă convenabil ca oglinda să fie cel puţin cu un inch sau cu doi mai largă decît apertura, iar lentila oglinzii suficient de groasă ca să nu se încovoaie la prelucrare. Prisma *EFG* nu trebuie să fie mai mare decît e necesar, iar faţa ei posterioară *FG* nu trebuie să fie amalgamată, căci şi fără mercur va reflecta toată lumina care cade de pe oglindă pe ea.

În acest instrument, obiectul va apărea răsturnat, el putînd însă deveni drept, făcînd ca feţele pătratice *EF* şi *EG* ale prismei *EFG* să nu fie plane, ci sferice convexe, pentru ca razele să se poată încrucişa atît înainte de a ajunge la ea, cît şi după aceea între ea şi ocular. Este de dorit ca instrumentul să aibă o apertură mai largă ceea ce se poate face şi prin compunerea oglinzii din două lentile cu apă între ele.

Dacă teoria construirii telescoapelor ar putea fi introdusă cu timpul complet în practică, totuşi sînt anumite limite dincolo de care telescoapele nu pot fi perfecţionate. Într-adevăr, aerul prin care privim stelele este într-o tremurare continuă, după cum se poate vedea din mişcarea tremurătoare a umbrei aruncate de turnurile înalte şi de scînteierea stelelor fixe. Dar aceste stele nu scînteiază cînd le privim prin telescoape de apertură largă. Căci razele de lumină care trec prin diverse părţi ale aperturii tremură fiecare în parte şi, prin tremurăturile variate şi uneori contrare, cad în acelaşi timp în diferite puncte din fundul ochiului şi mişcările lor tremurătoare sînt prea repezi şi confuze pentru a fi percepute separat. Toate aceste puncte luminate constituie un punct luminos larg, compus

din această mulţime de puncte amestecate confuz şi insensibil între ele cu tremurări scurte şi repezi, şi deci fac ca steaua să apară mai largă decît este şi fără nici o tremurare în întregul ei. Telescoapele lungi pot face ca obiectele să pară mai luminoase şi mai largi decît o pot face cele scurte, dar nu pot fi perfecţionate în aşa fel ca să înlăture amestecul razelor care ia naştere din tremurările atmosferei. Singurul remediu este un aer mai senin şi mai liniştit, cum probabil se poate găsi pe vîrfurile munţilor celor mai înalţi deasupra norilor mai denşi.



Planşa IV. — Desenul telescopului de refracţie al lui Newton.

Cartea întîi
a
OPTICII

PARTEA II

PROPOZIȚIA I. TEOREMA I

Fenomenele culorilor în lumină refractată sau reflectată nu sînt cauzate de noi modificări ale luminii imprimate diferit, potrivit diferitelor limite dintre lumină și umbră.

Proba experimentală

Experiența 1. Dacă soarele luminează într-o cameră foarte întunecată printr-o deschidere alungită F (fig. 1), a cărei lățime să fie de o șesime sau o optime de inch sau ceva mai mică, iar fasciculul său FH pătrunde mai întîi printr-o prismă foarte groasă ABC situată la o distanță de vreo 20 de picioare de deschidere și paralelă cu ea și apoi (partea albă a lui) printr-o deschidere alungită H, a cărei lățime este de aproximativ a patra sau a șasea parte dintr-un inch, făcută într-un corp negru opac CI și așezat la o distanță de două sau trei picioare de prismă într-o poziție paralelă atît cu prisma cît și cu deschiderea precedentă, dacă această lumină albă transmisă astfel prin deschiderea H cade, în sfîrșit, pe o hîtrie albă pt plasată în spatele deschiderii H la o distanță de trei sau patru picioare de ea, ea prezintă acolo culorile obișnuite ale prismei, cum ar fi roșul în t, galbenul în s, albastrul în q și violetul în p; puteți cu ajutorul unei sîrme de fier sau al vreunui alt corp asemănător opac, avînd grosimea cam de o zecime de inch, să interceptați razele din k, l, m, n sau să eliminați unele din culorile din t, s, r, q sau p pe cînd celelalte culori rămîn pe hîrtie ca mai înainte; cu un ob-

stacol ceva mai mare puteţi înlătura oricare două, trei sau patru culori împreună, restul rămînînd. În acest fel poate orice culoare să ajungă la fel ca violetul la limita umbrei dinspre *t* şi de asemenea oricare dintre ele se poate mărgini cu umbra făcută în interiorul

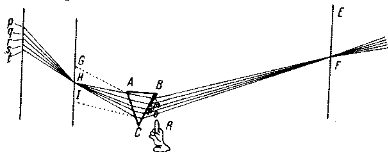


Fig. 1

culorilor de obstacolul *R* care interceptează o parte intermediară a luminii, în fine oricare dintre ele, fiind lăsată singură, se poate mărgini cu umbra de ambele părţi. Toate culorile fără nici o deosebire pot fi mărginite de umbră şi deci diferenţele dintre culori nu provin din diferitele limitări cu umbra, prin care lumina este modificată în mod variat, cum era pînă acum opinia filozofilor. Făcînd aceste încercări, e de observat că cu cît deschiderile *F* şi *H* sînt mai înguste, iar intervalele dintre ele şi prismă mai mari şi camera mai întunecată, cu atît reuşeşte mai bine experienţa, admiţînd că lumina nu este micşorată atît de mult încît culorile din *pt* să nu fie suficient de vizibile. E greu de procurat o prismă de sticlă solidă destul de groasă pentru această experienţă şi, prin urmare, trebuie făcut un vas prismatic din plăci de sticlă şlefuită chituite împreună şi umplut cu apă sarată sau ulei limpede.

Experienţa 2. Într-o cameră întunecată, printr-un orificiu circular *F* (fig. 2) cu o lărgime de o jumătate de inch să treacă lumina solară mai întîi prin prisma *ABC*, situată în dreptul orificiului, apoi printr-o lentilă *PT*, ceva mai largă de patru inch şi situată la vreo opt picioare de prismă, şi să conveargă în focarul lentilei *O*, depărtat de prismă cu trei picioare, şi apoi să cadă pe o hîrtie albă *DE*. Cînd această hîrtie era perpendiculară pe lumina incidentă, aşa cum este reprezentată în poziţia *DE*, toate culorile de pe ea apăreau în *O* albe. Dacă însă hîrtia era rotită în jurul unei

axe paralele cu prisma și mai înclinată față de lumină, așa cum este reprezentată în pozițiile *de* și $\delta\varepsilon$, aceeași lumină apărea într-un caz galbenă și roșie, în celălalt albastră. Aici una și aceeași parte a luminii apărea într-unul și același loc, potrivit diferitelor înclinări

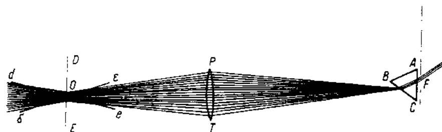


Fig. 2

ale hîrtiei, într-un caz albă, în altul galbenă sau roșie, în al treilea albastră, în timp ce limita dintre lumină și umbră și refracția prismei în toate aceste cazuri rămîne aceeași.

Experiența 3. O altă experiență de acest fel poate fi realizată cu mult mai ușor după cum urmează. Să lăsăm ca un fascicul larg

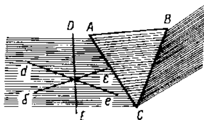


Fig. 3

de lumină solară care intră într-o cameră întunecată printr-o deschidere în oblonul ferestrei să se refracte printr-o prismă groasă *ABC* (fig. 3) al cărei unghi de refracție *C* este mai mare de 60 de grade și imediat ce iese din prismă să cadă pe hîrtia albă *DE*, lipită pe un plan rigid. Această lumină, cînd hîrtia este perpendiculară pe ea, după cum este reprezentat în *DE*, va apărea pe hîrtie perfect albă; dacă însă hîrtia este înclinată foarte mult față de ea în așa fel

că rămîne încontinuu paralelă cu axa prismei, albul întregii lumini de pe hîrtie va trece, după înclinarea hîrtiei încoace şi încolo, sau în galben şi roşu, ca în poziţia *de*, sau în albastru şi violet, ca în poziţia δε. Dacă lumina înainte de a cădea pe hîrtie este refractată la fel de două ori prin două prisme paralele, culorile vor deveni mai evidente. Aici toate părţile din mijlocul fasciculului larg de lumină albă care cade pe hîrtie devin colorate peste tot cu o culoare uniformă fără ca vreo margine a umbrei s-o modifice, culoarea fiind totdeauna aceeaşi atît în mijlocul hîrtiei, cît şi la margini, şi această culoare se schimbă după înclinarea variată a hîrtiei reflectatoare fără vreo schimbare în refracţie sau în umbră sau în lumina care cade pe hîrtie. În consecinţă, aceste culori trebuie deduse din alte cauze decît din noile modificări ale luminii prin refracţii şi umbre.

Se pune întrebarea : care este atunci cauza lor ? Eu voi răspunde că hîrtia în poziţia sa *de*, fiind mai oblică faţă de razele mai refrangibile, decît faţă de cele mai puţin refrangibile, este luminată mai intens de ultimele decît de primele şi deci cele mai puţin refrangibile sînt predominante în lumina reflectată. Acolo unde ele sînt predominante în vreo lumină o colorează în roşu sau galben, după cum apare într-o anumită măsură din propoziţia întîi a primei părţi a acestei cărţi şi va apărea şi mai complet mai tîrziu. Contrarul se întîmplă în poziţia δε de pe hîrtie, cînd sînt predominante razele cele mai refrangibile, care totdeauna colorează lumina în albastru şi violet.

Experienţa 4. Culorile baloanelor de săpun cu care se joacă copiii variază şi-şi schimbă diferit poziţia fără nici o legătură cu marginea sau cu umbra. Dacă acoperim un astfel de balon de săpun cu o sticlă concavă spre a-l feri de agitaţia vîntului sau de mişcarea aerului, culorile îşi vor schimba încet şi regulat poziţia, chiar dacă ochiul, balonul de săpun şi toate corpurile care emit vreo lumină sau aruncă vreo umbră rămîn nemişcate. Prin urmare, culorile lor se nasc dintr-o cauză regulată care nu depinde de nici o margine de umbră. În cartea următoare se va arăta care este această cauză.

La aceste experienţe se poate adăuga experienţa a zecea din prima parte a cărţii întîi, unde lumina solară care intră într-o cameră întunecată, trecînd prin suprafeţele paralele a două prisme reunite în forma unui paralelipiped, la ieşirea ei din prismă devenea cu totul galbenă sau roşie omogen. În producerea acestor culori, limitarea cu umbră nu are nici un rol. Într-adevăr, lumina trece succesiv de la alb la galben, portocaliu şi roşu fără vreo schimbare a limitării umbrei ; la ambele margini ale luminii emergente, unde marginile contrare ale umbrei ar putea produce efecte diferite, cu-

loarea este una şi aceeaşi, fie că este albă, galbenă, portocalie sau roşie, iar în mijlocul luminii emergente, unde nu există nici o limită a umbrei, culoarea este aceeaşi ca la margini, lumina totală la prima ei emergenţă fiind de culoare uniformă fie că este albă, galbenă, portocalie sau roşie şi mergînd de acolo încontinuu fără vreo schimbare a culorii, în aşa fel cum se presupune de obicei că acţionează umbra asupra luminii refractate după emergenţa ei. Aceste culori nu pot proveni din nici o modificare nouă a luminii prin refracţii, atît din cauza că ele trec succesiv din alb în galben, portocaliu şi roşu, pe cînd refracţiile rămîn aceleaşi, cît şi din cauză că refracţiile au loc în sensuri contrare la suprafeţele paralele, distrugîndu-şi astfel reciproc efectele. Aşadar, ele nu se nasc din modificări oarecare ale luminii produse prin refracţii şi umbre, ci au alte cauze. În experienţa a zecea, care a fost menţionată, s-a arătat care este acea cauză şi nu e nevoie să se repete aici.

Mai există însă şi o altă dovadă importantă în această experienţă. Lumina emergentă fiind refractată de o a treia prismă *HIK* (fig. 22, partea I) spre hîrtia ***PT*** şi proiectînd acolo culorile obişnuite ale prismei, roşu, galben, verde, albastru, violet, dacă aceste culori s-ar produce prin refracţiile prismei care modifică lumina, ele nu ar exista în lumină înainte de incidenţa ei pe prismă. Totuşi în acea experienţă am găsit că, rotind cele două prisme în jurul axei lor comune, toate culorile puteau fi făcute să dispară afară de roşu; lumina care producea acel roşu, rămînînd singură, apărea de aceeaşi culoare roşie ca şi cea dinaintea incidenţei pe a treia prismă. În general, din alte experienţe aflăm că, dacă razele care diferă în refrangibilitate se separă unele de altele şi una dintre ele se consideră separată, culoarea luminii compuse nu poate fi schimbată prin nici o refracţie sau reflexie, cum ar trebui să se întîmple dacă culorile nu ar fi altceva decît modificări ale luminii cauzate de refracţii, reflexii şi umbre. Această invariabilitate a culorii o voi descrie acum în propoziţia ce urmează.

PROPOZIŢIA II. TEOREMA II

Orice lumină omogenă îşi are propria sa culoare, corespunzînd gradului său de refrangibilitate, şi această culoare nu poate fi schimbată prin reflexii şi refracţii.

În experienţele din propoziţia a patra a părţii întîi a cărţii întîi, cînd am separat razele eterogene una de alta, spectrul *pt* format

din razele separate, înaintînd de la capătul său p, unde cădeau razele cele mai refrangibile, spre celălalt capăt t, unde cădeau razele cele mai puțin refrangibile, apărea colorat cu seria de culori violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu, roșu, împreună cu toate gradele intermediare într-o succesiune continuă, variind perpetuu. În acest fel apăreau atîtea grade de culori cîte feluri de raze de refrangibilitate diferită erau.

Experiența 5. Am recunoscut că aceste culori nu pot fi schimbate prin refracție, refractînd cu o prismă uneori o parte foarte mică, a acestei lumini, iar alteori altă parte mică, după cum am descris în experiența a douăsprezecea din partea întîi a acestei cărți. Într-adevăr, prin această refracție culoarea luminii nu s-a schimbat cîtuși de puțin. Dacă o parte a luminii roșie era refractată, ea rămînea cu totul de aceeași culoare ca înainte. Prin această refracție nu apărea nici un portocaliu, galben, verde sau albastru sau vreo altă culoare nouă. Nici nu se schimba culoarea prin refracții repetate, ci rămînea totdeauna în întregime același roșu ca cel dintîi. Aceeași constanță și imuabilitate am găsit-o și în albastru, verde și alte culori. La fel cînd priveam printr-o prismă asupra unui corp luminat cu o parte a acestei lumini omogene, după cum s-a descris în experiența a patrusprezecea din partea I a acestei cărți, n-am putut observa nici o culoare nouă care să fie generată în acest fel. Toate corpurile luminate cu lumină compusă apăreau neclare dacă erau privite prin prismă (după cum s-a spus mai sus) și colorate cu diferite culori noi, pe cînd cele luminate cu o lumină omogenă nu apăreau privite prin prismă nici mai puțin distincte, nici altfel colorate decît apăreau cînd le priveam cu ochiul liber. Culorile lor nu se schimbau cîtuși de puțin prin refracția prismei interpuse. Eu vorbesc despre o schimbare sensibilă a culorii, fiindcă lumina pe care o numesc aici omogenă nefiind absolut omogenă, din eterogenitatea ei poate proveni o mică schimbare a culorii. Dacă însă această eterogenitate era foarte mică în experiențele amintite din propoziția a patra, schimbarea nu era sensibilă și, prin urmare, în experiențele în care hotărește simțul nu poate fi luată de loc în considerare.

Experiența 6. După cum aceste culori nu puteau fi schimbate prin refracții, la fel nu puteau să fie prin reflexii. Căci toate corpurile albe, gri, roșii, galbene, verzi, albastre, violete, cum sînt hîrtia, cenușa, miniul, pigmentul auriu, indigoul, aurul, argintul, cuprul, iarba, florile albastre, viorelele, baloanele de săpun colorate cu culori

variate, penele de păun, tinctura de *lignum nephriticum** și altele asemenea apăreau în lumina roșie omogenă total roșii, în lumina albastră total albastre, în lumina verde total verzi, și la fel în celelalte culori. În lumina omogenă de orice culoare, toate apăreau absolut în aceeași culoare, cu singura deosebire că unele dintre ele reflectau acea lumină mai intens, altele mai slab. Totuși nu am putut găsi nici un corp care în lumina omogenă reflectată să-și poată schimba culoarea în mod sensibil.

Din toate acestea este evident că, dacă lumina solară ar consta numai dintr-un fel de raze, nu ar exista în toată lumea decît o singură culoare și nu ar fi posibil să se producă nici o culoare nouă prin reflexii sau refracții; în consecință varietatea culorilor depinde de compoziția luminii.

DEFINIȚIE

Lumina omogenă și razele care apar roșii sau, mai bine zis, fac ca obiectele să apară roșii eu le numesc *rubrifiante* sau producătoare de roșu; pe acelea care fac ca obiectele să apară galbene, verzi, albastre și violete le numesc producătoare de galben, verde, albastru, violet și la fel pe celelalte. Iar dacă uneori vorbesc despre lumină și raze ca fiind colorate și înzestrate cu culori, aș dori să fiu înțeles că nu vorbesc filozofic și în sens propriu, ci în mod obișnuit și după concepțiile pe care poporul de rînd este în stare să și le formeze, văzînd toate aceste experiențe. Propriu-zis razele nu sînt colorate. În ele nu este altceva decît o anumită putere și dispoziție de a provoca o senzație a unei culori sau alteia. Într-adevăr, după cum sunetul

* *Moringa pterygosperma.* R. Boyle scrie despre aceasta următoarele: „Am găsit uneori în prăvăliile droghiștilor noștri un fel de lemn, pe care ei îl numesc *lignum nephriticum*, din cauză că locuitorii regiunii în care crește obișnuiesc să-i întrebuințeze infuzia preparată în apă limpede împotriva litiazei renale. Acest lemn poate fi prilej pentru o experiență care în afară de originalitatea ei ne poate fi de mare folos, într-un studiu atent asupra culorilor. Luați *lignum nephriticum* și tăiați-l cu un cuțit în felii; puneți cam un pumn din aceste felii în doi, trei sau patru funți de cea mai curată apă de izvor. Decantați această apă impregnată într-o fiolă de sticlă și dacă o țineți direct între lumină și ochi o veți vedea în întregime colorată cu o culoare aproape galbenă. Dacă însă țineți fiola în partea contrară luminii, astfel ca ochiul să fie situat între fereastră și fiolă, lichidul va apare într-o culoare azurie închisă, plăcută" (*R. Boyle's Works*, II, 44, 1744; ediția Birch). În limbile moderne *lignum pephriticum* are următoarele denumiri: *nephritic wood* (e), *bois nephretique*(f), *Nierenholz* (g), astfel că românește s-ar putea numi „lemn nefritic".

într-un clopot sau coardă muzicală, ori în alte corpuri sonore nu este decît o mişcare vibratorie propagată şi în aer de la obiect şi în *sensorium**, unde acesta este o senzaţie a acelei mişcări sub formă de sunet, tot astfel culorile în obiecte nu sînt altceva decît o dispoziţie de a reflecta un gen sau altul de raze în măsură mai mare decît pe altele; în raze ele nu sînt altceva decît dispoziţia lor de a propaga o mişcare sau alta în *sensorium*, iar în *sensorium* ele sînt senzaţii ale acelor mişcări sub formă de culori.

PROPOZIŢIA III. PROBLEMA I

Determinarea refrangibilităţii mai multor feluri de lumină omogenă corespunzătoare diferitelor culori.

Pentru a determina această problemă am făcut următoarea experienţă**.

Experienţa 7. Cînd am reuşit să limitez laturile rectilinii *AF*, *GM* (fig. 4) ale spectrului colorat produs de prismă, după cum este

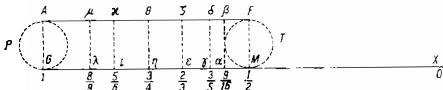


Fig. 4

descris în experienţa a cincea din partea întîi a acestei cărţi, am aflat în ele toate culorile omogene în aceeaşi ordine şi situarea lor ca în spectrul luminii simple, descris în propoziţia a patra a acelei părţi. Într-adevăr, cercurile din care este compus spectrul *PT* al luminii compuse şi care interferează la mijlocul spectrului şi sînt amestecate între ele nu sînt amestecate şi în părţile lui extreme, unde ele ating laturile rectilinii *AF* şi *GM*. Prin urmare, în acele laturi rectilinii, dacă sînt

* Denumirea folosită de Newton, pe care am păstrat-o în toată lucrarea, pentru ca să nu fim nevoiţi să o înlocuim cu o perifrază.

** Vezi Newton, *Lectiones opticae* partea II, secţ. II, pag. 239.

bine definite, nu există nici o culoare nouă generată de refracție. Am mai observat că, dacă oriunde între cercurile extreme *TMF* și *PGA* se duce o linie transversală ca $\gamma\delta$ prin spectru în așa fel ca ambele capete să cadă perpendicular pe laturile sale rectilinii, acolo apărea una și aceeași culoare și același grad de culoare de la un capăt la celălalt al acestei linii. De aceea am trasat pe hîrtie perimetrul spectrului *FAPGMT* și, efectuînd experiența a treia din partea a doua a acestei cărți, am ținut hîrtia în așa fel ca spectrul să poată cădea pe această figură trasată și să coincidă exact cu ea, în timp ce un asistent, ai cărui ochi erau mai ageri pentru distingerea culorilor decît ai mei, utilizînd liniile drepte $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, $\varepsilon\xi$ etc. trasate transversal pe spectru, nota limitele culorilor, adică $M\alpha\beta F$ pentru roșu, $\alpha\gamma\delta\beta$ pentru portocaliu, $\gamma\varepsilon\xi\delta$ pentru galben, $\varepsilon\eta\theta\xi$ pentru verde, $\gamma\iota\kappa\theta$ pentru albastru, $\iota\lambda\mu\kappa$ pentru indigo și $\lambda GA\,\mu$ pentru violet. Repetînd această experiență de mai multe ori atît pe aceeași hîrtie, cît și pe altele, am găsit că observațiile coincideau destul de bine unele cu altele și că laturile rectilinii *MG* și *FA* erau divizate prin liniile transversale menționate în felul coardelor muzicale. Să prelungim *GM* pînă la *X* astfel ca *MX* să poată fi egal cu *GM* și să presupunem că GX, λX, ιX, ηX, εX, γX, αX, MX sînt între ele ca numerele 1, 8/9, 5/6, 3/4, 2/3, 3/5, 9/10, 1/2 și astfel reprezintă coardele unei chei și unui ton, a unei terțe minore, cuarte, cvinte, sexte majore, septime și octave superioare ale acelei chei, iar intervalele $M\alpha$, $\alpha\gamma$, $\gamma\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\iota$, $\iota\lambda$ și λG sînt spațiile pe care le ocupă diversele culori (roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet)*.

Aceste intervale sau spații care subîntind diferențele dintre refracțiile razelor ce merg pînă la limitele acelor culori, adică pînă la punctele M, α, γ, ε, η, ι, λ, G, pot fi luate fără eroare sensibilă proporționale cu diferențele dintre sinusurile de refracție ale razelor cu un sinus comun de incidență prin urmare, fiindcă sinusul comun de incidență al razelor celor mai mult și mai puțin refrangibile din sticlă în aer s-a găsit (printr-o metodă descrisă mai sus) că este în raportul sinusurilor de refracție ca 50 la 77 și 78, împărțind diferența dintre sinusurile de refracție 77 și 78 după linia *GM* divizată în intervale, vom obține 77,77 1/8, 77 1/5, 77 1/3, 77 1/2, 77 2/3, 77 7/9, 78 pentru sinusurile de refracție ale razelor la trecerea din sticlă în aer, sinusul lor comun de incidență fiind 50. Așadar, sinu-

* Această comparație a lui Newton între spectrul optic și scara muzicală nu se confirmă din cauză că într-un spectru continuu, limitele dintre cele șapte culori nu se pot determina exact.

surile de incidență ale tuturor razelor care produc roșu din sticlă în aer față de sinusurile lor de refracție nu erau mai mari decît 50/77, nici mai mici ca 50/77 1/8 ci variau între ele după toate rapoartele intermediare. Iar sinusurile de incidență ale razelor care produceau verde erau către sinusurile lor de refracție în toate rapoartele de la 50/77 1/3 pînă la 50/77 1/2. Prin aceleași limite menționate mai sus erau definite refracțiile razelor aparținînd restului de culori, sinusurile razelor care produceau roșu extinzîndu-se de la 77 la 77 1/8, ale celor care produceau portocaliu de la 77 1/8 la 77 1/5, care produceau galben de la 77 1/5 la 77 1/3, care produceau verde de la 77 1/3 la 77 1/2, ale albastrului de la 77 1/2 la 77 2/3, ale indigoului de la 77 2/3 la 77 7/9, iar ale violetului de la 77 7/9 la 78.

Acestea sînt legile pentru refracțiile efectuate din sticlă în aer și de aici, cu ajutorul axiomei a treia din partea întîi a acestei cărți, se deduc ușor legile refracțiilor care au loc din aer în sticlă.

Experiența 8. Am mai găsit că, dacă lumina trece din aer prin mai multe medii alăturate refractante, ca, de exemplu, din apă în sticlă, și apoi pătrunde din nou în aer, indiferent dacă suprafețele refractante sînt paralele sau înclinate una față de alta, ori de cîte ori acea lumină este corectată prin refracții contrare, astfel încît razele emergente să fie în linii paralele cu cele incidente, ea continuă totdeauna să rămînă albă. Dacă însă razele emergente sînt înclinate față de cele incidente, lumina albă emergentă, la trecerea prin locul de emergență, se va colora treptat la margini. Am încercat aceasta refractînd lumina cu prisme de sticlă așezate într-un vas prismatic cu apă. Aceste culori prezintă o anumită divergență și separație a razelor eterogene una de alta, datorită refracțiilor inegale; aceasta se va vedea mai bine în cele ce urmează. Dimpotrivă, permanența culorii albe arată că la incidențe egale ale razelor nu are loc o astfel de separare a razelor emergente și, în consecință, nici o inegalitate a refracțiilor. De aici mi se pare că pot deduce următoarele două teoreme.

1. Mărirea sinusurilor de refracție ale diferitelor feluri de raze față de sinusul lor comun de incidență cînd refracțiile se petrec din diverse medii mai dense imediat într-unul și același mediu mai rarefiat, de exemplu în aer, sînt între ele într-un raport dat.

2. Raportul dintre sinusul de incidență și cel de refracție al unuia și aceluiași fel de raze dintr-un mediu în altul este compus din raportul dintre sinusul de incidență și sinusul de refracție din mediul întîi într-un al treilea mediu și din raportul dintre sinusul de incidență și sinusul de refracție din acest al treilea mediu în al doilea.

Prin teorema întîi se obţin refracţiile razelor de orice fel care au loc dintr-un mediu oarecare în aer, cunoscînd refracţia razelor de un gen oarecare. De exemplu, dacă voim să cunoaştem refracţiile razelor de orice gen la ieşirea lor din apa curată în aer, dacă scădem sinusul comun de incidenţă din sticlă în aer din sinusurile de refracţie, atunci diferenţele vor fi 27, 27 1/8, 27 1/5, 27 1/3, 27 1/2, 27 2/3, 27, 7/9, 28. Să presupunem că sinusul de incidenţă al ultimelor raze refrangibile este faţă de sinusurile lor de refracţie din apă curată în aer în raportul 3/4 şi spunem că diferenţa acestor sinusuri este faţă de sinusul de incidenţă 3, la fel ca ultima dintre diferenţele menţionate mai sus 27 către un al patrulea număr 81, 81 fiind sinusul comun de incidenţă din apă curată în aer, la care sinus, dacă adunăm toate diferenţele menţionate mai sus, vom obţine sinusurile de refracţie dorite 108 1/8, 108 1/3, 108 1/2, 108 2/3, 108 7/9, 109.

Prin teorema a doua se obţine refracţia dintr-un mediu în altul ori de cîte ori cunoaştem refracţiile din amîndouă într-un al treilea mediu. De exemplu, dacă raportul dintre sinusul de incidenţă al unei raze din sticlă în aer şi sinusul său de refracţie este 20/31, iar raportul dintre sinusul de incidenţă al aceleiaşi raze din aer în apă şi sinusul său de refracţie este 4/3, sinusul de incidenţă al acelei raze din sticlă în apă va fi faţă de sinusul său de refracţie în raportul 20/31 faţă de 4/5, adică la fel ca produsul dintre 20 şi 4 către produsul dintre 31 şi 3, deci ca 80/93.

Admiţînd aceste teoreme în optică, vom avea suficient posibilitatea de a trata această ştiinţă pe larg într-o nouă manieră*, nu numai pentru a expune lucruri care tind la perfecţionarea vederii, ci de asemenea pentru a determina în mod matematic toate felurile de fenomene ale culorilor ce pot fi produse prin refracţie. Pentru a face aceasta nu se cere altceva decît să aflăm separările razelor eterogene şi variatele lor amestecuri şi proporţii în fiecare amestec. Prin acest fel de discuţie am descoperit aproape toate fenomenele descrise în aceste cărţi, în afară de cîteva mai puţin importante pentru acest subiect; după succesele pe care le-am obţinut în aceste experienţe pot să promit că, pentru acela care va judeca corect şi apoi va încerca toate experienţele cu sticle bune şi atenţie suficientă, succesul nu va întîrzia. Dar mai întîi trebuie să ştie ce fel de culori se vor naşte dacă ele se amestecă într-o anumită proporţie dată.

* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, secţ. III, IV şi partea II, secţ. II.

PROPOZIȚIA IV. TEOREMA III

Se pot produce culori prin compunere care vor fi asemenea culorilor luminii omogene în ce privește aspectul culorilor, dar nu în ce privește imuabilitatea culorilor și constituția luminii. Aceste culori, cu cît sînt mai compuse, cu atît sînt mai puțin pure și intense și printr-o compunere excesivă ele pot fi diluate și slăbite pînă cînd dispar, iar amestecul devine alb sau gri. De asemenea se pot produce prin compunere culori care nu se aseamănă cu nici una dintre culorile luminii omogene.

Într-adevăr, un amestec de roşu şi galben omogene compun un portocaliu în aparenţă la fel cu culoarea acelui portocaliu care în seria culorilor prismatice neamestecate se situează între ele; dar această lumină portocalie este omogenă în ce priveşte refrangibilitatea, pe cînd a celuilalt este eterogenă, şi culoarea unuia privită printr-o prismă rămîne neschimbată, iar a celuilalt se schimbă şi se descompune în culorile sale componente, roşu şi galben. La fel celelalte culori învecinate omogene; pot compune noi culori, asemenea celor intermediare omogene, astfel galbenul şi verdele dau culoarea intermediară dintre ele şi dacă se adaugă apoi albastrul, se va obţine un verde, care este culoarea mijlocie a celor trei culori care intră în compoziţie. Pe de altă parte, galbenul şi albastrul, dacă ambele sînt în cantităţi egale, formează un verde intermediar prin compunerea lor în părţi egale, care se menţine ca şi cînd ar fi în echilibru, în aşa fel că acesta, pe de o parte, nu tinde mai mult spre galben şi nici spre albastru, ci prin acţiunea lor unită rămîne o culoare situată la mijloc. Acestui verde mixt i se poate adăuga apoi puţin roşu şi violet, fără ca verdele să dispară, devenind însă mai puţin intens şi viu, iar prin creşterea roşului şi violetului se va dilua din ce în ce mai multpînă cînd culorile adăugate vor fi predominate şi va trece în alb sau în altă culoare. La fel, dacă la culoarea unei lumini omogene se adaugă lumina solară albă compusă din toate felurile de raze, acea culoare nu va dispărea şi nu-şi va schimba caracterul, ci se va dilata, şi, dacă se adaugă tot mai mult alb, se va dilua încontinuu din ce în ce mai mult. În fine, dacă se amestecă roşu cu violet se va naşte, potrivit proporţiilor lor variate, diverse culori purpurii, care în aparenţă nu sînt asemenea cu culoarea nici unei lumini omogene, şi din aceste culori purpurii amestecate cu galben şi verde se pot produce alte culori noi.

PROPOZIŢIA V. TEOREMA IV

Albul şi toate culorile gri dintre alb şi negru pot fi compuse din diferite culori, iar albul luminii solare este compus din toate culorile primare amestecate într-o proporţie potrivită.

Proba experimentală

Experienţa 9. Am lăsat să intre lumina solară într-o cameră întunecată printr-un orificiu mic rotund din oblonul ferestrei, lumina fiind acolo refractată printr-o prismă astfel încît să formeze imaginea colorată *PT* (fig. 5) pe peretele opus. Am ţinut o hîrtie albă *V* în acea imagine în aşa fel ca ea să poată fi luminată de lumina colorată reflectată de acolo şi totuşi să nu intercepteze nici o parte a acelei lumini în trecerea ei de la prismă spre spectru. Am constatat că, dacă hîrtia era ţinută mai aproape de una dintre culori decît de celelalte, ea apărea în culoarea de care era mai apropiată; dacă însă era egal sau aproape egal depărtată de toate culorile, astfel încît să poată fi egal luminată de toate, ea apărea albă. În această ultimă

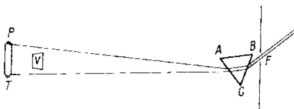


Fig. 5

situaţie a hîrtiei, dacă anumite culori erau interceptate, hîrtia îşi pierdea culoarea albă şi apărea în culoarea restului luminii care nu era interceptată. Atunci hîrtia era luminată de diferite culori, şi anume roşu, galben, verde, albastru şi violet; fiecare parte a luminii îşi păstra propria culoare pînă ce cădea pe hîrtie şi apoi se reflecta spre ochi, astfel că şi dacă ar fi fost singură (restul luminii fiind interceptat) sau ar fi fost mai abundentă, fiind predominantă lumina reflectată de hîrtie, ar fi colorat hîrtia cu culoarea sa proprie, dar, fiind

amestecată cu restul culorilor într-o proporţie potrivită, făcea ca hîrtia să apară albă şi deci printr-o compunere cu restul producea acea culoare. Diversele părţi ale luminii colorate reflectate de spectru, în timp ce ele se propagă de acolo prin aer, îşi reţin perpetuu propria lor culoare, fiindcă ori de cîte ori ajung în ochii unui spectator

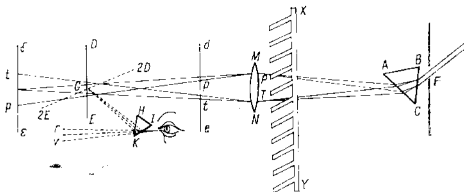


Fig. 6

fac ca diferitele părţi ale spectrului să apară în propria lor culoare. Aşadar, ele îşi reţin propriile culori cînd cad pe hîrtia *V* şi astfel, prin confuzia şi amestecul perfect al acelor culori, compun albul luminii reflectate de acolo.

Experienţa 10. Să lăsăm acum să cadă spectrul imaginii solare *PT* (fig. 6) pe lentila *MN*, care este mai mare de patru inch şi este aşezată la o distanţă de vreo şase picioare de prisma *ABC*, făcută în aşa fel încît să poată face ca lumina colorată care diverge de la prismă să conveargă şi să se întîlnească din nou în focarul său *G* la o distanţă de aproximativ şase sau opt picioare de la lentilă şi acolo să cadă perpendicular pe o hîrtie albă *DE*. Dacă mişcaţi această hîrtie înainte şi înapoi, veţi vedea că în apropierea lentilei, în *de*, întreaga imagine solară (presupusă în *pt*) va apărea colorată intens în modul descris mai sus şi că, depărtînd-o de lentilă, culorile se vor apropia încontinuu una de alta, amestecîndu-se încontinuu mai mult sau mai puţin, pînă cînd în sfîrşit hîrtia ajunge în focarul *G*, unde printr-un amestec perfect vor dispărea complet şi vor trece în alb, întreaga lumină apărînd acum pe hîrtie sub forma unui mic cerc alb. După aceea, depărtînd-o mai departe de lentilă, razele, care mai îna-

inte convergeau, acum se vor încrucişa între ele în focarul G, vor diverge de acolo şi în acest fel vor face să apară iarăşi culorile, dar de această dată în ordine inversă, să presupunem în $\delta\varepsilon$, unde roşul t este acum sus, pe cînd mai înainte era jos, iar violetul p care era mai înainte sus acum este jos.

Să fixăm acum hîrtia în focarul G, unde lumina apare total albă şi circulară, şi să observăm acest alb. Eu zic că el este compus din culorile convergente. Într-adevăr, dacă unele dintre aceste culori sînt interceptate de lentilă, albul va înceta să mai apară şi va degenera într-o culoare ce se naşte din compunerea celorlalte culori care nu sînt interceptate. Dacă însă culorile interceptate sînt lăsate să treacă şi să cadă pe culoarea compusă, se vor amesteca cu ea şi prin amestecul lor vor restabili albul. Astfel, dacă interceptăm violetul, atunci albastrul şi verdele, galbenul, portocaliul şi roşul care rămîn vor compune pe hîrtie un portocaliu; dacă apoi lăsăm să treacă culorile interceptate, ele vor cădea pe acest portocaliu necompus şi împreună cu el vor compune albul. Astfel, dacă este interceptat roşul şi violetul, rămîn galbenul, verdele şi albastrul şi se va forma pe hîrtie un verde, apoi roşul şi violetul, fiind lăsate să treacă, vor cădea pe acest verde şi împreună cu el vor compune albul. Iar în această compunere a albului diversele raze nu suferă nici o schimbare în calităţile lor de culoare acţionînd una asupra celeilalte, ci numai se amestecă, şi printr-un amestec al culorilor lor produc albul, după cum se va vedea mai bine prin următoarele argumente.

Dacă aşezăm hîrtia dincolo de focarul G, de exemplu în $\delta\varepsilon$, şi apoi la lentilă alternativ interceptăm şi apoi lăsăm să treacă din nou culoarea roşie, culoarea violetă de pe hîrtie nu va suferi prin aceasta nici o schimbare, după cum s-ar întîmpla dacă ar acţiona mai multe feluri de raze reciproc în focarul G, unde se încrucişează. Nici roşul de pe hîrtie nu se va schimba prin oprirea şi prin trecerea violetului care-l încrucişa.

Dacă fixăm hîrtia în focarul G şi privim imaginea albă rotundă din G prin prisma HIK, iar prin refracţia acelei prisme o deplasăm în locul rv, acolo va apărea în diferite culori, şi anume violetul în v, roşul în r şi celelalte între ele; dacă oprim culoarea roşie şi apoi o lăsăm să treacă spre lentilă, roşul din r de asemenea va dispărea şi va reveni adesea, dar violetul din v nu va suferi prin aceasta nici o schimbare. La fel, oprind şi lăsînd alternativ să treacă albastrul la lentilă, albastrul din v de asemenea va dispărea şi reapărea fără a se produce vreo schimbare în roşul din r. Prin urmare, roşul depinde de un

fel de raze, iar albastrul de un altul, care în focarul *G*, unde se amestecă, nu interacţionează reciproc.

Consider mai departe că, dacă razele cele mai refrangibile *Pp* şi cele mai puţin refrangibile *Tt* prin convergenţă se înclină unele spre altele, dacă ţinem hîrtia foarte oblic, faţă de aceste raze în focarul *G* ea poate reflecta un anumit fel de raze mai abundent decît altul şi în felul acesta lumina reflectată se va colora în focar în culoarea razelor predominante numai dacă acele raze îşi reţin fiecare în parte culoarea sau calităţile de culoare în compunerea albului format din ele în focar. Dacă însă nu şi-o reţin în acest alb, ci fiecare dintre ele capătă o dispoziţie de a acţiona asupra simţului ca să conducă la percepţia albului, atunci nu se va pierde albul prin astfel de reflexii. De aceea am înclinat hîrtia foarte oblic faţă de raze, ca în experienţa a doua din partea a doua a cărţii întîi, astfel încît razele cele mai refrangibile puteau fi reflectate mai abundent decît restul şi, în fine, albul trecea succesiv în albastru, indigo şi violet. Apoi am înclinat-o în partea contrară, aşa încît razele cele mai puţin refrangibile puteau fi mai abundente în lumina reflectată decît celelalte şi albul trecea succesiv în galben, portocaliu şi roşu.

În sfîrşit, am construit un aparat *XY* de forma unui pieptene, ai cărui dinţi, în număr de şasesprezece, aveau lăţimea de aproximativ un inch şi jumătate, iar intervalele dintre dinţi erau de vreo doi inch. Interpunînd succesiv dinţii acestui instrument aproape de lentilă, am interceptat o parte dintre culori prin dinţii interpuşi, în timp ce restul lor pătrundea prin intervalul dintre dinţi pînă la hîrtia *DE*, şi acolo proiectam o imagine solară rotundă. Dar mai întîi am plasat hîrtia astfel ca lumina să poată apărea albă ori de cîte ori pieptenul era înlăturat; apoi pieptenul fiind interpus, după cum am spus, albul, din cauza părţii interceptate a culorilor la lentilă, trecea totdeauna într-o culoare compusă din culorile care nu erau interceptate, iar culoarea aceasta varia continuu prin mişcarea pieptenului, astfel încît, la trecerea fiecărui dinte prin faţa lentilei, toate culorile — roşu, galben, verde, albastru şi purpuriu — se succedau în permanenţă. Făceam deci ca toţi dinţii să treacă succesiv prin faţa lentilei şi, cînd mişcarea era lentă, apărea pe hîrtie o succesiune perpetuă a culorilor; dar dacă acceleram mişcarea atît de mult încît culorile nu se puteau distinge una de alta din cauza succesiunii lor rapide, nu mai avea loc apariţia unei singure culori. Nu se mai vedea acolo nici roşu, nici galben, nici verde, nici albastru, nici purpuriu, ci din suprapunerea tuturor acestor culori lua naştere o culoare uniformă albă. Din lumina care prin amestecul culorilor apărea acum albă, nici o parte nu

era în realitate albă. O parte era roşie, alta galbenă, a treia verde, a patra albastră, a cincea purpurie şi fiecare parte îşi menţinea propria culoare pînă ce excita simţul. Dacă impresiile urmează încet una după alta astfel că ele pot fi percepute separat, se formează o senzaţie distinctă a tuturor culorilor una după alta într-o succesiune continuă.

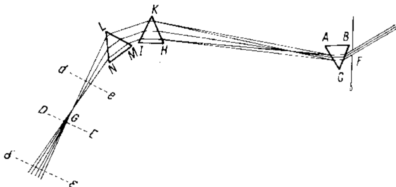


Fig. 7

Dar, dacă impresiile urmează una după alta atît de repede încît nu pot fi percepute separat, din totalitatea lor se naşte o senzaţie comună, care nu este numai a unei singure culori, ci aparţine tuturor fără deosebire, şi aceasta este senzaţia de alb. Prin repeziciunea succesiunilor, impresiile diverselor culori se confundă în *sensorium* şi afară de acea suprapunere ia naştere o senzaţie mixtă. Dacă mişcăm repede un cărbune aprins în cerc prin rotaţii continuu repetate, întreg cercul va apărea ca de foc, deoarece senzaţia cărbunelui în diferitele părţi ale cercului rămîne imprimată în *sensorium* pînă ce cărbunele se întoarce în acelaşi loc. La fel într-o succesiune rapidă a culorilor rămîne în *sensorium* impresia fiecărei culori pînă ce se completează o revoluţie a tuturor culorilor şi revine prima culoare. De aceea impresiile tuturor culorilor succesive se află simultan în *sensorium* şi produc în comun o senzaţie a tuturora. Aşadar, din această experienţă este evident că impresiile amestecate ale tuturor culorilor provoacă o senzaţie de alb, deci albul este compus din toate culorile.

Dacă îndepărtăm acum pieptenele, astfel încît toate culorile pot să treacă deodată de la lentilă la hîrtie şi acolo să se amestece şi apoi să se reflecte spre ochii spectatorului, impresiile lor asupra *sensoriumului* fiind acum mai subtile şi perfect amestecate, ele vor produce cu atît mai bine senzaţia de alb.

În loc de lentilă puteți întrebuința două prisme HIK și LMN, care, refractînd lumina colorată în sens invers celei din prima refracție, pot face ca razele divergente să conveargă și să se întîlnească din nou în G, după cum vedeți reprezentat în figura 7. Acolo unde se întîlnesc și se amestecă, ele vor compune o lumină albă, ca și cînd am fi folosit o lentilă.

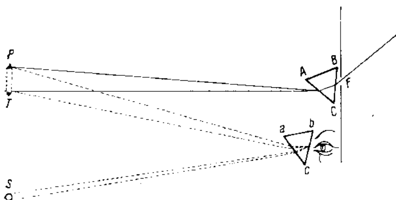


Fig. 8

Experiența 11. Să lăsăm să cadă imaginea colorată a Soarelui PT (fig. 8) pe peretele unei camere întunecate, ca în experiența a treia a cărții întîi, și s-o privim prin prisma *abc*, ținută paralel cu prisma ABC, care a format prin refracție această imagine; s-o facem apoi să apară mai jos decît înainte, de exemplu în locul S în fața culorii roșii T. Dacă vă apropiați de imaginea PT, spectrul S va apărea alungit și colorat, la fel ca imaginea PT; dacă însă vă depărtați de ea, culorile spectrului S se vor contracta din ce în ce mai mult și, în fine, vor dispărea, spectrul S devenind perfect rotund și alb; iar dacă vă depărtați și mai mult, culorile vor apărea din nou, dar în ordine inversă. Spectrul S apare deci alb în cazul cînd diferitele feluri de raze care converg din diversele părți ale imaginii PT spre prisma *abc* sînt refractate de ea în mod egal în așa fel încît în trecerea lor de la prismă la ochi pot să diveargă de la unul și același punct al spectrului S și astfel să cadă după aceea în același punct pe fundul ochiului și acolo să se amestece.

Apoi dacă ne folosim de pieptene, ai cărui dinți pot intercepta succesiv culorile imaginii PT, și dacă mișcăm încet pieptenele, spec-

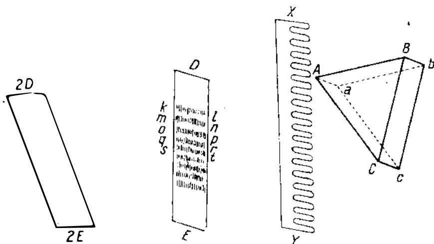


Fig. 9

trul *S* se va colora continuu cu culori succesive; dar, dacă prin accelerarea mişcării pieptenelui succesiunea culorilor este atît de rapidă încît ele nu pot fi văzute separat, spectrul *S*, printr-o senzaţie confuză şi amestecată, va apărea alb.

Experienţa 12. Lumina solară străbătînd o prismă groasă *ABC* (fig. 9) pînă la un pieptene *XY* situat imediat în spatele prismei, trecea prin spaţiile dintre dinţi şi cădea pe o hîrtie albă *DE*. Lăţimile dinţilor erau egale cu spaţiile dintre ele şi şapte dinţi împreună cu aceste spaţii aveau lăţimea de un inch. Dacă hîrtia era la o distanţă de vreo doi sau trei inch de la pieptene, lumina care trecea prin diversele intervale proiecta tot atîtea fîşii colorate *kl*, *mn*, *op*, *qr* etc., paralele între ele, vecine şi fără nici un amestec de alb. Aceste fîşii colorate, dacă pieptenele era mişcat încontinuu în sus şi jos, se ridicau şi se coborau cu o mişcare corespunzătoare pe hîrtie, iar cînd mişcarea pieptenului era atît de rapidă încît culorile nu se mai puteau distinge unele de altele, întreaga hîrtie, în urma suprapunerii şi amestecului lor, apărea în *sensorium* albă.

Ţinînd pieptenele în repaus şi mişcînd hîrtia mai departe de prismă, diversele fîşii colorate se vor dilata din ce în ce mai mult şi prin amestec culorile lor se vor dilua una în cealaltă, iar pe urmă,

cînd distanța de la hîrtie la pieptene va fi de aproape un picior sau ceva mai mult (să presupunem în poziția *2D 2E*), se vor dilua atît de mult, încît vor deveni albe.

Opriți acum cu un obstacol toată lumina ce trece printr-un interval dintre dinți, astfel ca toate fîșiile colorate ce vin de acolo să fie înlăturate, și veți vedea că lumina restului fîșiilor se lărgește în locul fîșiei înlăturate și acolo se colorează. Dacă lăsați să treacă fîșia colorată ca mai înainte, culorile ei, căzînd pe culorile celorlalte fîșii și amestecîndu-se cu ele, vor restabili lumina albă.

Dacă acum înclinăm hîrtia *2D 2E* foarte mult față de raze, astfel ca razele cele mai refrangibile să poată fi reflectate mai mult decît restul, culoarea albă a hîrtiei, datorită excesului acelor raze, se va schimba în albastru și violet. Dacă înclinăm hîrtia atît de mult în sens contrar ca acum razele cele mai puțin refrangibile să fie reflectate mai mult decît celelalte, prin excesul lor albul se va transforma în galben și roșu. Prin urmare, diversele raze își mențin în această lumină albă calitățile lor de culoare, prin care razele de același fel, ori de cîte ori devin mai abundente decît restul, prin excesul și predominarea lor vor face să apară culoarea lor proprie.

Prin același raționament, aplicat la experiența a treia din partea a doua a cărții întîi, se poate conchide că culoarea albă a oricărei lumini refractate la prima ei emergență, unde apare tot atît de albă ca înainte de incidență, este compusă din culori diferite.

Experiența 13. În experiența precedentă, diversele intervale dintre dinții pieptenelui joacă rolul tot atîtor prisme, fiecare interval producînd fenomenul unei prisme. De aceea, întrebuințînd în locul acelor intervale mai multe prisme, am încercat să compun albul amestecînd culorile și am făcut aceasta folosind numai trei prisme, ba chiar numai două, după cum urmează. Să așezăm două prisme *ABC* și *abc* (fig. 10), ale căror unghiuri de refracție *B* și *b* sînt egale, paralele între ele în așa fel ca unghiul de refracție *B* al uneia să atingă unghiul *c* de la baza celeilalte, iar planele lor *CB* și *cb* din care emerg razele să fie coliniare. Să lăsăm ca lumina ce le traversează să cadă pe hîrtia *MN* la o distanță de vreo 8 sau 12 inch de prismă. Culorile generate de limitele interioare *B* și *c* ale celor două prisme se vor amesteca în *PT* și acolo vor compune albul. Căci, dacă îndepărtăm una dintre prisme, culorile formate de cealaltă vor apărea în locul *PT* și, dacă punem prisma iarăși la locul ei astfel ca culorile ei să cadă pe culorile celeilalte, amestecul amîndurora va restabili albul.

Această experiență reușește, după cum am verificat, și dacă unghiul *b* al prismei de jos este cu ceva mai mare decît al celei de sus

iar între unghiurile interioare *B* şi *c* se află un spaţiu oarecare *Bc*, după cum se vede pe figură, iar planele refractatoare *BC* şi *bc* nu sînt nici în prelungire, nici paralele între ele. Într-adevăr, pentru succesul experienţei nu se cere nimic mai mult decît ca toate felurile de raze să poată fi amestecate uniform pe hîrtie în locul *PT*. Dacă razele cele mai refrangibile care vin de la prisma superioară ocupă

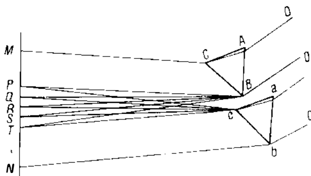


Fig. 10

întreg spaţiul dintre *M* şi *P*, razele de acelaşi fel care vin din partea inferioară a prismei trebuie să înceapă afară în *P* şi să ocupe întreg restul spaţiului de acolo pînă la *N*. Dacă razele cele mai puţin refrangibile ce vin din partea superioară a prismei ocupă spaţiul *MT*, razele de acelaşi fel care vin de la cealaltă prismă trebuie să înceapă la *T* şi să ocupe spaţiul rămas liber *TN*. Dacă una dintre razele care au grade intermediare de refrangibilitate vine de la prisma de sus, se răspîndeşte în spaţiul *MQ*, iar o altă rază se extinde în spaţiul *MR* şi o a treia în spaţiul *MS*, acelaşi fel de raze venind de la prisma de jos trebuie să lumineze respectiv spaţiile rămase *QN*, *RN*,*SN*. Acelaşi lucru trebuie înţeles despre toate celelalte feluri de raze, căci astfel orice fel de raze se vor împrăştia uniform şi egal prin întreg spaţiul *MN* şi în felul acesta, amestecîndu-se pretutindeni în aceeaşi proporţie, trebuie să producă peste tot aceeaşi culoare. În consecinţă, fiindcă prin acest amestec ele produc un alb în spaţiile exterioare *MP* şi *TN*, trebuie să producă un alb şi în spaţiul interior *PT*. Aceasta este cauza compunerii prin care se producea albul în această experienţă şi pe orice altă cale prin care am făcut o compunere analogă al cărui rezultat dădea alb.

În sfîrşit, dacă cu dinţii unui pieptene de o mărime potrivită interceptăm alternativ luminile colorate ale celor două prisme ce cad pe spaţiul *PT*, acel spaţiu *PT*, dacă mişcarea pieptenelui este înceată, va apărea totdeauna colorat; dacă însă accelerăm mişcarea pieptenelui atît de tare încît culorile succesive să nu se poată distinge între ele, el va apărea alb.

Experienţa 14. Pînă acum am produs albul amestecînd culorile prismei. Dacă acum voim să amestecăm culorile corpurilor naturale, să agităm apă amestecată puţin cu săpun ca să devină spumoasă, iar după ce spuma s-a aşezat puţin, dacă o privim intens, vom vedea apărînd diverse culori pretutindeni pe suprafaţa diferitelor bule; dacă însă ne depărtăm atît de mult de ele încît nu putem distinge culorile una de alta, toată spuma va apărea albă, de un alb perfect.

Experienţa 15. În fine, încercînd să compun un alb prin amestecul prafului colorat pe care-l întrebuinţează pictorii, am observat că toate prafurile colorate suprimă şi opresc în ele o parte foarte considerabilă a luminii cu care sînt luminate. Într-adevăr, ele se colorează prin faptul că reflectă mai abundent lumina culorii lor proprii, pe cînd a celorlalte culori o reflectă mai puţin, şi totuşi nu reflectă lumina culorii lor proprii atît de mult cum o fac corpurile albe. Dacă, de exemplu, aşezăm miniu şi hîrtie albă în lumina roşie a spectrului colorat obţinut într-o cameră întunecată prin refracţia unei prisme, după cum s-a descris în experienţa a treia din prima parte a acestei cărţi, hîrtia va apărea mai luminoasă decît miniul. Iar dacă le ţinem în lumina unei alte culori, lumina reflectată de hîrtie va întrece lumina reflectată de miniu într-o proporţie cu mult mai mare. La fel se întîmplă cu prafurile de o altă culoare. Prin urmare, amestecînd astfel de prafuri, să nu ne aşteptăm la un alb intens şi complet, ca cel al hîrtiei, ci la ceva obscur, asemănător cu ceea ce poate proveni dintr-un amestec de lumină şi întuneric sau de alb şi negru, adică un gri sau cenuşiu ori brun-roşcat, cum sînt culorile unghiilor omeneşti, ale unui şoarece, ale cenuşii, ale pietrelor obişnuite, ale mortarului, ale prafului şi murdăriei de pe şosele, precum şi altele la fel. Un astfel de alb închis am realizat adeseori amestecînd prafuri colorate. Astfel o parte de miniu şi cinci părţi de *Viride aeris* * dădeau o culoare cenuşie asemănătoare cu a şoarecelui. Căci fiecare dintre aceste două culori este compusă din altele în aşa fel încît amîndouă împreună sînt un amestec de toate culorile; aici am folosit mai puţin miniu decît *Viride aeris*, deoarece culoarea miniului este mai intensă,

* Acetat bazic de cupru (cocleală).

iar o parte de miniu şi patru părţi de azurit dădeau o culoare cenuşie, tinzînd puţin spre purpuriu; dacă însă adăugăm la acesta un anumit amestec de auripigment şi *Viride aeris* în proporţie determinată, amestecul îşi pierdea coloraţia purpurie şi devenea perfect cenuşiu. Dar experienţa reuşea mai bine fără miniu în felul următor. Am adăugat la auripigment încetul cu încetul un anumit purpuriu foarte intens, de care întrebuinţează pictorii, pînă ce auripigmentul înceta de a mai fi galben şi devenea roşu-deschis. Apoi am diluat acel roşu adăugînd puţină *Viride aeris* şi ceva mai mult azurit decît *Viride aeris*, pînă ce devenea de un astfel de gri sau alb-deschis încît nu înclina spre nici o culoare mai mult decît spre alta. Într-adevăr, în felul acesta el devenea de un alb egal cu cel al cenuşii sau al lemnului tăiat proaspăt sau a pielii omeneşti. Auripigmentul reflecta mai multă lumină decît oricare alt praf şi contribuia mai mult la albul culorilor compuse decît celelalte. Este greu de stabilit proporţiile exacte din cauza calităţii diferite a prafurilor de acelaşi fel. După cum culoarea unui praf este mai mult sau mai puţin intensă şi luminoasă, el poate fi întrebuinţat într-o proporţie mai mică sau mai mare.

Dacă însă luăm în considerare faptul că aceste culori gri şi cenuşiu pot fi produse şi amestecînd alb cu negru, în consecinţă diferă de albul perfect, nu în ceea ce priveşte felul culorilor, ci numai în gradul de luminozitate, este evident că pentru a le face perfect albe nu se cere altceva decît să le mărim suficient lumina; din contra, dacă, mărindu-le lumina, ele pot fi aduse la un alb perfect, de aici mai urmează că ele sînt de aceeaşi culoare ca şi albul cel mai bun şi se deosebesc de el numai prin cantitatea de lumină. Am încercat aceasta după cum urmează: am luat al treilea din amestecurile gri menţionate mai sus (acela care era format din auripigment, purpur, azurit şi *Viride aeris*), l-am întins pe podeaua camerei mele, în care bătea Soarele prin geamul deschis şi am aşezat lîngă el în umbră o bucată de hîrtie albă de aceeaşi mărime. Îndepărtîndu-mă apoi de el la o distanţă de 12 pînă la 18 picioare, astfel încît nu puteam deosebi inegalităţile suprafeţei prafului, nici puţina umbră ce cădea pe ea de la micile particule; praful apărea intens alb, aşa că întrecea însuşi albul hîrtiei, mai ales dacă hîrtia era puţin umbrită de lumina norilor, şi atunci hîrtia în comparaţie cu praful apărea în aceeaşi culoare gri pe care o avea praful mai înainte. Aşezînd însă hîrtia acolo unde cădea lumina solară care trecea prin geamul ferestrei sau închizînd fereastra astfel ca Soarele să poată lumina praful prin geam sau mărind sau micşorînd prin alte mijloace potrivite lumina care cade

pe praf şi hîrtie, se poate face ca lumina care luminează praful să devină mai intensă într-o proporţie potrivită faţă de lumina care luminează hîrtia, încît ambele să apară exact de acelaşi alb. Într-adevăr, cînd încercam aceasta şi venind un prieten să mă viziteze, l-am oprit în uşă şi, înainte de a-i spune ce culori erau sau cu ce mă ocupam, l-am întrebat care dintre cele două alburi era cel mai bun şi prin ce se deosebesc. După ce le-a privit bine de la distanţă, el mi-a răspuns că amîndouă erau perfect albe şi că nu se poate să spună care este cel mai bun, nici prin ce diferă culorile lor. Acum, dacă luaţi în considerare că acest alb al prafului în lumina solară era compus din culorile pe care le au prafurile componente (auripigment, purpur, azurit şi *Viride aeris*) în aceeaşi lumină solară, trebuie să recunoaşteţi din această experienţă, ca şi din cea precedentă, că albul perfect poate fi compus din culori.

Din cele spuse mai este evident că albul luminii solare este compus din toate culorile diverselor feluri de raze din care este formată acea lumină şi în care se separă din cauza diferenţei de refrangibilitate a razelor respective, colorînd hîrtia sau orice alt corp alb pe care cad. Aceste culori sînt (potrivit propoziţiei II, partea a 2-a) neschimbătoare şi ori de cîte ori toate aceste raze cu aceste culori ale lor sînt din nou amestecate, ele reproduc aceeaşi lumină albă ca şi mai înainte.

PROPOZIŢIA VI. PROBLEMA II

Într-un amestec de culori primare, fiind dată cantitatea şi calitatea ia, să aflăm culoarea amestecului.

scrieţi un cerc *ADF* şi cu centrul *O* (fig. 11) şi împărţiţi-i inţa în şapte părţi *DE*, *EF*, *FG*, *GA*, *AB*, *BC*, *CD*, propor- cele şapte tonuri sau intervale ale celor opt sunete sol, a, mi, fa, sol, cuprinzînd o octavă, adică proporţionale cu 9, 1/16, 1/10, 1/9, 1/16, 1/16, 1/9. Fie partea întîi *DE* , a doua *EF* cea portocalie, a treia *FG* galbenul, a patra cincea *AB* albastrul, a şasea *BC* indigoul, a şaptea naginaţi-vă că acestea sînt toate culorile luminii ne- treptat una în cealaltă, după cum se întîmplă cînd o prismă, circumferinţa *DEFGABCD* reprezentînd ulori de la un capăt al imaginii colorate a Soare- l că de la *D* la *E* se află toate gradele de roşu în

E culoarea medie între roşu şi portocaliu, de la *E* la *F* toate gradele de portocaliu, la *F* media dintre portocaliu şi galben, de la *F* la *G* toate nuanţele de galben şi aşa mai departe. Fie *p* centrul de greutate al arcului *DE*, iar *q*, *r*, *s*, *t*, *u*, *x* centrele de greutate respectiv ale arcelor *EF*, *FG*, *GA*, *AB*, *BC* şi *CD*; în jurul acestor centre de greutate să descriem cercuri proporţionale cu numărul de raze ale fiecărei culori a amestecului dat, cercul *p* proporţional cu numărul razelor care dau prin amestec roşu portocaliul şi la fel pentru rest. Să găsim centrul de greutate comun tuturor acestor cercuri *p*, *q*, *r*, *s*, *t*, *u*, *x*. Fie acest centru *Z* şi, ducînd din centrul cercului *ADF*, prin *Z*, la circumferinţă linia dreaptă *OY*, locul punctului *Y* pe circumferinţă va indica culoarea ce se naşte din compunerea tuturor culorilor din amestecul dat, iar linia *OZ* va fi proporţională cu intensitatea culorii, adică cu diferenţa ei de alb. De exemplu, dacă *Y* cade la mijloc între *F* şi *G*, culoarea compusă va fi galbenul cel mai curat; dacă *Y* se deplasează de la mijloc spre *F* sau *G*, culoarea compusă va fi în mod corespunzător un galben tinzînd spre portocaliu sau verde. Dacă *Z* cade pe circumferinţă, culoarea va fi intensă şi vie în cel mai mare grad; dacă va cădea la mijloc între circumferinţă şi centru, intensitatea va scădea la jumătate, adică va avea culoarea ce s-ar produce prin diluarea galbenului celui mai intens cu o cantitate egală de alb, iar dacă va cădea în centrul *O*, culoarea îşi va pierde intensitatea şi va deveni albă. Dar trebuie să notăm că, dacă punctul *Z* cade pe sau aproape de linia *OD*, ingredienţii principali fiind roşul şi violetul, culoarea compusă nu va fi nici una dintre culorile prismatice, ci un purpuriu înclinînd spre roşu sau violet, după cum punctul *Z* este situat de o parte a liniei *DO* spre E sau spre *C*, şi în general violetul compus este mai strălucitor şi mai viu decît cel necompus. Chiar dacă se amestecă în proporţie egală numai două din culorile primare care în cerc sînt opuse una cu cealaltă, punctul *Z* va cădea în centrul *O* şi totuşi culoarea compusă din acestea două nu va fi perfect albă, ci o culoare oarecare nedefinită. Eu nu am putut să produc niciodată prin amestecul numai a două culori un alb perfect. Nu ştiu dacă acesta se poate compune dintr-un amestec de trei

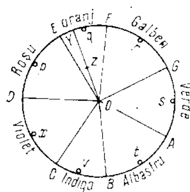


Fig. 11

culori luate la distanțe egale pe circumferință, însă din patru sau cinci nu mai încape îndoială că se poate. Dar acestea sînt curiozități care au o mică importanță sau chiar nici una pentru înțelegerea fenomenelor naturii. Căci în orice alb produs de natură de obicei există un amestec de tot felul de raze și, în consecință, o compoziție a tuturor culorilor.

Ca să dau un exemplu pentru această regulă, presupuneți că o culoare e compusă din următoarele culori omogene : o parte de indigo, două părți de albastru, trei părți de verde, cinci părți de galben, șase părți de portocaliu și zece părți de roșu. Descrieți proporțional cu aceste părți respectiv cercurile x, v, t, s, r, q, p, adică, dacă cercul x este unu, cercul v poate fi unu, cercul t doi, cercul s trei și cercurile r, q și p cinci, șase și zece. Găsind centrul comun de greutate Z al acestor cercuri și ducînd prin Z linia OY, punctul Y cade pe circumferință între E și F și de aici conchid că culoarea compusă din aceste ingrediente va fi un portocaliu, tinzînd puțin mai mult spre roșu decît spre galben. De asemenea găsesc că OZ este cu ceva mai mică decît jumătatea lui OY, iar de aici conchid că acest portocaliu are cu ceva mai puțin din jumătatea intensității portocaliului necompus, adică acesta este un portocaliu care poate fi obținut prin amestecul unui portocaliu omogen cu un alb curat în raportul liniei OZ către linia ZY, acest raport nefiind al cantităților de praf portocaliu amestecat cu alb, ci al cantităților de lumină reflectată de ambele.

Eu consider această regulă destul de precisă pentru practică, deși nu de precizie matematică, iar adevărul ei poate fi dovedit în mod suficient pentru ochi, oprind unele dintre culori la lentila din experiența a zecea a acestei cărți. Restul culorilor care nu sînt oprite, ci trec spre focarul lentilei vor compune acolo fie exact, fie foarte aproximativ o culoare ce va rezulta potrivit acestei reguli din amestecul lor.

PROPOZIȚIA VII. TEOREMA V

Toate culorile din univers, care sînt produse de lumină și nu depind de puterea imaginației, sînt fie culori ale luminii omogene, fie compuse din acestea, precis sau aproape precis, potrivit regulii din problema precedentă.

Într-adevăr, s-a demonstrat (în propoziția I, partea a-II-a) că schimbările de culori cauzate de refracții nu provin din nici o mo-

dificare nouă a razelor imprimată de acele refracţii şi nici de diferitele feluri de granițe dintre lumină şi umbră, după cum era opinia constantă şi generală a filozofilor. De asemenea s-a dovedit că diversele culori ale razelor omogene corespund constant aceloraşi grade de refrangibilitate (propoziţia I, partea I şi propoziţia II, partea a II-a) şi că gradele lor de refrangibilitate nu pot fi schimbate prin refracţii şi reflexii (propoziţia II, partea I) şi acele culori care le corespund sînt întotdeauna aceleaşi. Iarăşi s-a arătat direct prin refracţia şi reflexia separată a luminilor omogene că culorile lor nu pot fi schimbate (propoziţia II, partea a II-a). La fel s-a dovedit că, dacă se amestecă mai multe feluri de raze care, încrucişîndu-se, trec prin acelaşi spaţiu, ele nu acţionează una asupra alteia astfel ca una să schimbe calităţile de culoare ale celeilalte (experienţa 10, partea a II-a), ci amestecîndu-şi acţiunile în *sensorium*, produc o senzaţie diferită de cea pe care ar produce-o fiecare separat, adică senzaţia unei culori medii între culorile lor proprii; în particular, dacă prin concursul şi amestecul tuturor felurilor de raze se produce o culoare albă, albul este un amestec al tuturor culorilor pe care razele le-ar avea separat (propoziţia V, partea a II-a). În acest amestec, razele nu-şi pierd sau schimbă diversele lor calităţi de culoare, ci prin toate felurile lor diferite de acţiuni amestecate în *sensorium* dau naştere senzaţiei unei culori medii, care este albul. Căci albul este o medie între toate culorile, aparţinînd indiferent tuturor, astfel că uşor poate fi colorat cu oricare dintre ele. Un praf roşu amestecat cu puţin albastru sau unul albastru cu puţin roşu nu-şi pierde numaidecît culoarea, pe cînd un praf alb amestecat cu altă culoare imediat capătă acea culoare şi este deopotrivă capabil să primească orice altă culoare. De asemenea s-a demonstrat că, după cum lumina Soarelui este un amestec de tot felul de raze, la fel albul ei este un amestec al culorilor tuturor felurilor de raze; razele care au de la început diferite calităţi de culoare ca şi propriile lor refrangibilităţi, menţinîndu-le tot timpul neschimbate în ciuda oricăror refracţii sau reflexii pe care le pot suferi la un moment dat, şi că ori de cîte ori vreun fel de raze solare se separă de rest prin vreun mijloc (ca prin reflexie în experienţa 9 şi 10, partea I sau prin refracţie, cum se întîmplă în orice refracţie), ele îşi manifestă propriile culori. Aceste lucruri au fost demonstrate şi toate împreună conduc la propoziţia care urmează să fie dovedită. Căci dacă lumina solară este un amestec de diferite feluri de raze, fiecare dintre ele avînd refrangibilitatea şi calitatea ei de culoare originară, şi totuşi reflexiile şi refracţiile

lor şi diversele lor separări şi amestecuri îşi păstrează proprietăţile originare întotdeauna aceleaşi fără alterare, atunci toate culorile din lume trebuie să fie astfel cum apar în mod constant din calităţile de culoare originare ale razelor, din care constă lumina prin care se văd acele culori. Prin urmare, dacă se caută cauza vreunei culori, nu avem altceva de făcut decît să considerăm în ce chip se despart unele de altele sau se amestecă între ele razele din lumina solară prin reflexie sau refracţie sau din alte cauze ori să găsim prin alt mijloc ce fel de tipuri de raze se află în lumina care produce acea culoare şi în ce proporţie; apoi, cu ajutorul ultimei probleme, să găsim culoarea ce poate apărea din amestecul acelor raze (sau al culorilor lor) în proporţia respectivă. Eu vorbesc aici despre culori întru cît ele se nasc din lumină. Într-adevăr, ele apar uneori şi din alte cauze, ca atunci cînd prin puterea fanteziei vedem culori în vis sau cînd un nebun vede în faţa sa lucruri care nu există sau cînd, lovind ochiul, vedem scîntei, sau cînd, apăsînd un colţ al ochiului în timp ce privim în altă parte, vedem culori asemănătoare ochiului din coada unui păun. Cînd nu intervin aceste cauze sau altele asemănătoare, culorile totdeauna corespund felului sau felurilor de raze din care e formată lumina, după cum am găsit constant în orice fenomen de culori pe care am fost în stare să-l examinez pînă acum. În propoziţiile următoare voi da cîteva exemple de acestea privitoare la fenomenele mai importante.

PROPOZIŢIA VIII. PROBLEMA III

Cu ajutorul proprietăţilor descoperite ale luminii să explicăm culorile produse de prisme.

Fie ABC (fig. 12) o prismă care refractă lumina solară ce intră într-o cameră întunecată printr-o deschidere $F\varphi$ aproape de dimensiunile prismei, iar MN o hîrtie albă pe care cade lumina; să presupunem că razele cele mai refrangibile sau cele care dau violetul cel mai închis cad pe spaţiul $P\pi$, cele mai puţin refrangibile sau cele care provoacă roşul cel mai închis pe spaţiul $T\tau$, razele medii între cele care produc indigoul şi albastrul pe spaţiul $Q\chi$, razele medii care dau verde pe spaţiul $R\rho$, razele medii între cele care dau galbenul şi portocaliul pe spaţiul $S\sigma$, iar celelalte raze intermediare pe spaţiile intermediare. În acest fel spaţiile pe care cad diferitele feluri de raze în mod corespunzător vor fi, potrivit diferitelor refrangibi-

lități, ale acelor feluri de raze unul mai jos decît altul. Dacă hîrtia MN se află atît de aproape de prismă, încît spațiile PT și $\pi\tau$ nu interferează unul cu altul, distanța dintre ele $T\pi$ va fi luminată de toate felurile de raze în proporția pe care o au la imediata lor ieșire din prismă și, în consecință, ea va fi albă. Pe de altă parte însă, spațiile PT și $\pi\tau$ nu vor fi luminate de toate și deci vor apărea colorate.

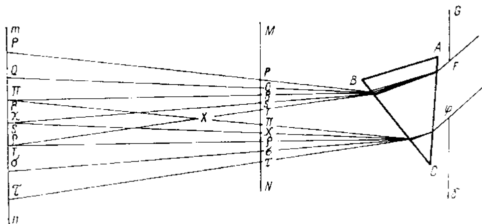


Fig. 12

În particular în P, unde cad numai razele care dau violet extrem, culoarea trebuie să fie violetul cel mai închis. În Q, unde se amestecă razele care produc violet și indigo, trebuie să fie un violet care înclină mult spre indigo. În R, unde se amestecă razele care produc violet, indigo, albastru și jumătate din cele care dau verde, culorile lor trebuie să compună (potrivit construcției din problema a doua) o culoare medie între indigo și albastru. În S, unde se amestecă toate razele cu excepția celor care dau roșu și portocaliu, culorile lor vor compune, după aceeași regulă, un albastru șters, tinzînd mai mult spre verde decît spre indigo. Înaintînd de la S spre T, acest albastru va deveni din ce în ce mai șters și mai slab pînă în T, unde toate culorile încep să se amestece și se termină în alb.

La fel, de cealaltă parte a albului în τ, unde se află numai razele cele mai puțin refrangibile sau cele care dau roșul extrem, culoarea trebuie să fie roșul cel mai închis. În σ amestecul de roșu și portocaliu va compune un roșu înclinînd spre portocaliu. În ρ ames-

tecul de roşu, portocaliu, galben şi jumătate din verde trebuie să compună o culoare medie între portocaliu şi galben. În χ amestecul tuturor culorilor, afară de violet şi indigo, va compune un galben şters, tinzînd mai mult spre verde decît spre portocaliu. Acest galben va deveni tot mai şters şi mai slab în înaintarea de la χ la π, unde printr-un amestec al tuturor felurilor de raze va deveni alb.

Aceste culori ar trebui să apară dacă lumina Soarelui ar fi perfect albă, dar, fiindcă ea înclină spre galben, excesul razelor producătoare de galben, care-i dă această culoare, fiind amestecat cu albastrul şters dintre S şi T, o va colora într-un verde şters. Astfel ordinea culorilor de la P la τ trebuie să fie: violet, indigo, albastru, verde foarte şters, alb, galben şters, portocaliu şi roşu. Aceasta o arată calculul, iar aceia care doresc să privească culorile formate de o prismă le vor găsi la fel şi în natură.

Acestea sînt culorile de cele două părţi ale albului cînd hîrtia albă este ţinută între prismă şi punctul X unde se întîlnesc culorile şi cînd albul dintre ele dispare. Căci, dacă ţinem hîrtia mai departe de prismă, razele cele mai mult şi cele mai puţin refrangibile vor lipsi din mijlocul luminii, iar restul razelor care se află acolo vor produce prin amestec un verde mai plin decît mai înainte. Galbenul şi albastrul de asemenea vor deveni acum mai puţin compuse şi, în consecinţă, mai intense decît mai înainte. Lucrul acesta este de asemenea în concordanţă cu experienţa.

Dacă privim printr-o prismă un obiect alb înconjurat de negru sau de întuneric, culorile care apar la margini au într-o oarecare măsură aceeaşi cauză care apare oricui se gîndeşte cu puţină atenţie. Dacă un obiect negru este înconjurat de unul alb, culorile care apar prin prismă trebuie derivate din lumina celui alb, care se împrăştie în regiunile celui negru, şi deci apar în ordinea contrară aceleia cînd un obiect alb este înconjurat de unul negru. Acelaşi lucru se întîmplă cînd privim un obiect care are unele părţi mai puţin luminoase decît altele. Căci la limitele dintre părţile mai mult şi mai puţin luminoase ar trebui, după aceleaşi principii, să apară culori din excesul de lumină al celor mai luminoase şi să fie de acelaşi fel ca atunci cînd părţile mai întunecate ar fi negre, numai că vor fi mai şterse şi mai diluate.

Ceea ce s-a spus despre culorile produse de prismă se poate aplica uşor la culorile formate de lentilele telescoapelor sau microscoapelor sau de umorile ochiului. Căci, dacă obiectivul unui telescop este mai gros la o parte decît la cealaltă sau dacă o jumătate a

lentilei sau a pupilei ochiului este acoperită cu substanţa opacă, obiectivul sau acea parte a lui sau a ochiului care nu e acoperită poate fi considerată drept o pană cu laturile curbate şi fiecare pană de sticlă sau de altă substanţă transparentă produce acelaşi efect ca o prismă cînd reflectă lumina ce trece prin ea *.

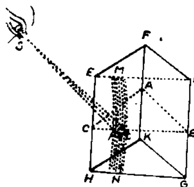


Fig. 13

În ce fel se nasc culorile din diferitele refrangibilităţi ale luminii în experienţa a noua şi a zecea din partea întîia este evident din cele spuse acolo. În experienţa a noua este însă de observat că, în timp ce lumina solară directă este galbenă, excesul razelor producătoare de albastru în fasciculul de lumină reflectată *MN* poate numai să prefacă acel galben într-un alb pal ce înclină spre albastru şi nu să-l coloreze cu o culoare limpede albastră. Prin urmare, pentru a obţine un albastru mai bun, am folosit în locul luminii galbene a Soarelui lumina albă a norilor, modificînd puţin experienţa după cum urmează.

Experienţa 16. Fie *HFG* (fig. 13) o prismă în aer liber, iar *S* ochiul unui observator privind norii în lumina ce intră în prismă prin faţa plană *FIGK*, se reflectă la baza ei *HEIG*, şi de acolo iese prin faţa ei plană *HEFK* spre ochi. Cînd prisma şi ochiul se află într-o poziţie potrivită, astfel încît unghiurile de incidenţă şi de reflexie de la bază să fie de vreo 40 de grade, observatorul va vedea un arc *MN* de culoare albastră mergînd de la un capăt al bazei la celălalt, cu partea concavă spre el, iar partea *IMNG* a bazei dincolo de arc va fi mai luminoasă decît cealaltă parte *EMNH* a ei. Această culoare albastră *MN*, nefiind formată decît din reflexia unei suprafeţe reflectătoare, pare un fenomen atît de ciudat şi atît de dificil de explicat prin ipotezele obişnuite ale filozofilor, încît nu am putut evita să nu-i dau atenţie. Pentru a-i înţelege cauza, să presupunem că planul *ABC* taie perpendicular feţele plane şi baza prismei. Să ducem de la ochi la linia *BC*, în care acel plan taie baza, liniile *Sp* şi *St* sub unghiurile *Spc* de 50 1/9 grade şi *Stc* de 49 1/28 grade; punctul *p* va fi limita dincolo de care nici una dintre razele cele mai re-

---

* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea II, secţ. II, pag. 269.

frangibile şi care are o incidenţă ce poate fi reflectată spre ochi nu poate trece şi nu se poate refracta prin baza prismei. Punctul *t* va fi o limită asemănătoare pentru razele cele mai puţin refrangibile, adică dincolo de care nu poate trece nici una dintre razele ale căror incidenţe pot ajunge prin reflexie la ochi. În punctul *r*, luat la mijloc între *p* şi *t*, va fi o limită asemănătoare pentru razele de refrangibilitate medie. Prin urmare, toate razele mai puţin refrangibile care cad pe bază dincolo de *t*, adică între *t* şi *B*, şi pot veni de acolo la ochi se vor reflecta acolo, însă dincoace de *t*, între *t* şi *c*, unele dintre aceste raze vor traversa baza. Toate razele mai refrangibile care cad pe bază dincolo de *p*, adică între *p* şi *B*, şi prin reflexie pot ajunge de acolo la ochi pot fi reflectate, dar oriunde între *p* şi *c* unele din aceste raze vor trece prin bază şi vor fi refractate; acelaşi lucru este valabil pentru razele de refrangibilitate medie de cele două părţi ale punctului *r*. De aici urmează că baza prismei trebuie să apară la ochi între *t* şi *B* peste tot albă şi strălucitoare în urma unei reflexii totale a tuturor felurilor de raze. În orice punct între *p* şi *C*, din cauza transmiterii unor raze de orice fel, lumina trebuie să apară pală, obscură şi întunecată. Iar în *r* şi în celelalte locuri între *p* şi *t*, unde toate razele mai refrangibile se reflectă spre ochi şi multe din cele mai puţin refrangibile sînt transmise, excesul celor mai refrangibile în lumina reflectată va colora acea lumină în culorile lor, care sînt violet şi albastru. Aceasta se întîmplă dacă luăm linia *CprtB* undeva între capetele *HG* şi *EI* ale prismei.

PROPOZIŢIA IX. PROBLEMA IV

Cu ajutorul proprietăţilor descoperite ale luminii să explicăm culorile curcubeului.

Acest arc nu apare decît atunci cînd plouă în lumina Soarelui şi poate fi realizat artificial aruncînd în sus apă care se poate fragmenta şi care, împrăştiindu-se în picături, cade ca ploaia. Soarele, luminînd aceste picături, face să apară un arc observatorului care se află într-o poziţie potrivită faţă de ploaie şi Soare. De aceea azi toată lumea e de acord că acest arc este produs de refracţia luminii solare în picăturile de ploaie care cad. Acest lucru a fost înţeles de unii dintre antici, iar mai tîrziu complet descoperit şi explicat de vestitul *Antonio de Dominis, arhiepiscop de Spalato**, în cartea sa *De ra-*

* Split.

*diis visus et lucis**, publicată de prietenul său *Bartolus* la Veneția în 1611 și scrisă cu vreo 20 de ani în urmă. Într-adevăr, el ne învață că arcul interior se formează în picăturile rotunde de ploaie prin două refracții ale luminii solare și cu o reflexie între ele, iar cel exterior prin două refracții și două reflexii intermediare în fiecare picătură de apă, și dovedește această explicație prin experiențe făcute cu un balon de sticlă plin cu apă și cu sfere de sticlă umplute cu apă și așezate la Soare ca să producă în ele apariția culorilor celor două arce. Aceeași explicație a dat-o și Descartes în *Meteorii* săi și a îmbunătățit pe cea a arcului exterior. Dar, fiindcă ei nu au cunoscut adevărata origine a culorilor, este necesar să ne ocupăm aici ceva mai mult. Deci, pentru a ști cum se formează curcubeul, să reprezentăm o picătură de ploaie sau orice alt corp sferic transparent prin sfera *BNFG* (fig. 14), descrisă cu centrul *C* și semidiametrul *CN*. Fie *AN* o rază solară care cade pe ea în *N* și de aici este refractată în *F*, unde sau iese din sferă prin refracție spre *V*, sau se reflectă spre *G*, iar în *G* sau iese prin refracție spre *R*, sau se reflectă spre *H*; din *H* iese în aer prin refracție spre *S*, tăind raza incidentă în *Y*. Să prelungim *AN* și *RG* pînă ce se întîlnesc în *X*, pe *AX* și *NF* să ducem perpendicularele *CD* și *CE* și să prelungim *CD* pînă ce întîlnește circumferința în *L*. Să trasăm paralel cu raza incidentă *AN* diametrul *BQ* și fie raportul dintre sinusul de incidență din aer în apă și sinusul de refracție I/R. Dacă presupunem că punctul de incidență *N* se mișcă spre punctul *B* incontinuu pînă ce ajunge în *L*, arcul *QF* va crește și apoi va descrește și la fel unghiul *AXR* pe care-l formează razele *AN* și *GR*, iar arcul *QF* și unghiul *AXR* vor fi maxime cînd ND/CN este la fel ca $\sqrt{II - RR}/\sqrt{3RR}$, în care caz NE/ND va fi ca $2R/I$. De asemenea, unghiul *AYS*, format de razele *AN* și *HS*, mai întîi va descrește, apoi va crește și va ajunge la valoarea minimă cînd ND/CN este la fel ca $\sqrt{II - RR}/\sqrt{8RR}$, în care caz NE/ND va fi ca raportul $3R/I$. La fel unghiul pe care-l formează

Fig. 14

* Despre raze, vedere și lumină.

raza emergentă cea mai apropiată (adică raza emergentă după trei reflexii) cu raza incidentă AN își va atinge limita cînd ND/CN este ca $\sqrt{II - RR}/\sqrt{15RR}$, în care caz NE/ND va fi ca $4R/I$. Iar unghiul pe care raza imediat următoare celei emergente, adică raza emergentă după patru reflexii, îl formează cu cea incidentă va ajunge la limita sa cînd ND/CN este ca $\sqrt{II - RR}/\sqrt{24RR}$, în care caz NE/ND va fi ca $5R/I$, și așa mai departe pînă la infinit, numerele 3, 8, 15, 24 etc. fiind obținute printr-o adunare continuă a termenilor progresiei aritmetice 3, 5, 7, 9 etc. Matematicienii vor verifica cu ușurință adevărul tuturor acestor afirmații *.

Să observăm că, după cum cînd Soarele ajunge la tropice ziua crește sau descrește foarte puțin un timp mai îndelungat tot așa, cînd prin creșterea distanței CD aceste unghiuri ajung la limite, cantitățile lor variază foarte puțin pentru mai mult timp. De aceea la limita acestor unghiuri va emerge un număr cu mult mai mare de raze care cad în toate punctele N din cadranul BL decît la orice altă înclinație. Mai departe trebuie să observăm că razele care diferă în refrangibilitate vor avea limite diferite ale unghiurilor lor de emergență și, în consecință, potrivit diferitelor lor grade de refrangibilitate emerg mai abundent sub diferite unghiuri și fiind separate unele de altele apar fiecare în propria sa culoare. Din teorema precedentă se poate găsi ușor prin calcul care sînt aceste unghiuri.

Într-adevăr, pentru razele cele mai puțin refrangibile, sinusurile I și R (după cum am găsit mai sus) sînt de 108 și 81 și de aici prin calculul se va afla că unghiul maxim AXR va fi de 42 de grade și 2 minute, iar unghiul minim AYS de 50 de grade și 57 minute. Pentru razele cele mai refrangibile sinusurile I și R sînt de 109 și 81. De aici prin calcul se va afla că unghiul maxim AXR va fi de 40 de grade și 17 minute, iar unghiul minim AYS de 54 de grade și 7 minute.

Să presupunem că O (fig. 15) este ochiul observatorului, iar OP o linie trasată paralel cu razele Soarelui și fie POE, POF, POG, POH unghiuri respectiv de 40 de grade și 17 minute, 42 de grade și 2 minute, 50 de grade și 57 minute și 54 de grade și 7 minute și că aceste unghiuri, prin învîrtirea în jurul laturei lor comune OP, vor descrie cu celelalte laturi OE, OF, OG, OH marginile a două curcubee $AFBE$ și $CHDG$. Într-adevăr dacă E, F, G, H sînt picături situate undeva pe suprafețele conice descrise de OE, OF, OG, OH și sînt

* Vezi Newton, *Lectiones opticae*, partea I, sect. IV, prop. 35 și 36.

luminate de razele solare *SE*, *SF*, *SG*, *SH*, unghiul *SEO* fiind egal cu unghiul *POE* sau cu 40 de grade şi 17 minute, va fi unghiul cel mai mare sub care razele cele mai refrangibile se pot refracta spre ochi după o reflexie şi de aceea toate picăturile de pe linia *OE* vor trimite razele cele mai refrangibile mai abundent spre ochi şi deci vor produce în acea regiune senzaţia culorii violete celei mai închise. La fel,

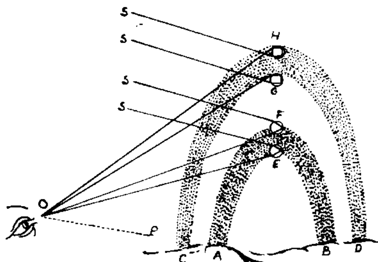


Fig. 15

unghiul *SFO*, fiind egal cu unghiul *POF* sau cu 42 de grade şi 2 minute, va fi cel mai mare în care razele cele mai puţin refrangibile pot ieşi din picături după o reflexie şi, prin urmare, acele raze vor veni mai abundent spre ochi din picăturile de pe linia *OF* şi vor produce în acea regiune senzaţia culorii roşii celei mai închise. Din acelaşi motiv, razele care au grade intermediare de refrangibilitate vor veni mai abundent din picăturile dintre *E* şi *F* şi vor da senzaţia culorilor intermediare în ordinea cerută de gradele lor de refrangibilitate, adică progresînd de la *E* la *F*, de la partea inferioară a arcului spre cea exterioară, în ordinea: violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu, roşu. Dar violetul, din cauza amestecului cu lumina albă a norilor, va apărea şters, tinzînd spre purpuriu.

La fel unghiul *SGO*, fiind egal cu unghiul *POG* sau cu 50 de grade şi 51 de minute, va fi unghiul cel mai mic sub care razele cele

mai puţin refrangibile pot ieşi din picături după două reflexii. De aceea razele cele mai puţin refrangibile vor veni mai abundent spre ochi de la picăturile de pe linia *OG* şi vor provoca în acea regiune senzaţia de roşu cel mai închis. Iar unghiul *SHO*, fiind egal cu unghiul *POH* sau cu 54 de grade şi 7 minute, va fi unghiul cel mai mic sub care razele cele mai refrangibile pot, după două reflexii, să iasă din picături şi, prin urmare, acele raze vor veni mai abundent spre ochi de la picăturile de pe linia *OH* şi vor produce în acea regiune senzaţia violetului celui mai închis. Din acelaşi motiv, picăturile din regiunea dintre *G* şi *H* vor produce senzaţia culorilor intermediare în ordinea pe care o cer gradele lor de refrangibilitate, adică înaintînd de la *G* spre *H* sau de la interiorul spre exteriorul arcului, în ordinea : roşu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet. Fiindcă cele patru linii *OE*, *OF*, *OG*, *OH* pot fi situate oriunde pe suprafeţele conice menţionate mai sus, ceea ce s-a spus despre picăturile şi culorile din aceste linii este valabil şi despre oricare dintre picăturile şi culorile de pe acele suprafeţe.

În acest fel iau naştere două arce de culori, unul interior şi mai intens, cu o reflexie în interiorul picăturilor, iar altul exterior şi mai şters cu două reflexii, fiindcă lumina devine mai slabă cu fiecare reflexie. Culorile se vor situa în ordine contrară una faţă de alta, roşul ambelor arce mărginind spaţiul *GF* care se află între arce. Lăţimea arcului interior *EOF*, măsurată transversal pe culori va fi de 1 grad şi 45 de minute, lăţimea celui exterior *GOH* de 3 grade şi 10 minute, iar distanţa *GOF* dintre ele va fi de 8 grade şi 15 minute, semidiametrul maxim al celui interior, adică unghiul *POF*, fiind de 45 de grade şi 2 minute, iar semidiametrul minim al celui exterior *POG* de 50 de grade şi 57 minute. Acestea ar fi valorile arcelor dacă Soarele ar fi un punct ; prin lăţimea discului acestuia, lăţimea arcelor va creşte, iar distanţa dintre ele va descreşte cu o jumătate de grad şi astfel lăţimea irisului interior va fi de 2 grade şi 15 minute, a celui exterior de 3 grade şi 40 de minute, distanţa lor de 8 grade şi 25 de minute, semidiametrul maxim al arcului interior de 42 de grade şi 17 minute, iar semidiametrul minim al celui exterior de 50 de grade şi 42 de minute. Cam aşa se prezintă cu foarte multă aproximaţie dimensiunile arcelor pe cer cînd culorile lor apar intense şi perfecte. Într-adevăr, mai demult, cu mijloacele de care dispuneam atunci, am evaluat mărimea semidiametrului maxim al irisului interior la vreo 42 de grade, iar lăţimea roşului, galbenului şi a verdelui în acel iris la 63 sau 64 de minute, cu excepţia roşului extrem şi şters şi întunecat de luminozitatea norilor, cărora le putem atri-

bui în plus 3 sau 4 minute. Lăţimea albastrului era cu vreo 40 de minute mai mare fără violet, care era atît de întunecat de luminozitatea norilor, încît nu i-am putut măsura lăţimea. Admiţînd că lăţimea albastrului şi a violetului împreună este egală cu acea a roşului, galbenului şi verdelui împreună, întreaga lăţime a acestui iris va fi de aproximativ 2 1/2 grade, ca mai sus. Distanţa minimă între acest iris şi cel exterior era de vreo 8 grade şi 30 de minute. Irisul exterior era mai lat decît cel interior, dar aşa de şters, mai ales spre partea albastrului, încît nu am putut să-i măsor bine lăţimea. Cu altă ocazie, cînd ambele arce apăreau mai distinct, am găsit pentru lăţimea irisului interior 2 grade şi 10 minute, iar lăţimea roşului, galbenului şi verdelui din irisul exterior către lăţimea aceloraşi culori din cel interior în raportul 3 la 2.

Această explicaţie a curcubeului a fost confirmată şi de cunoscutele experienţe (făcute de *Antonio de Dominis* şi *Descartes*) în care au atîrnat undeva în bătaia Soarelui un balon de sticlă umplut cu apă şi l-au privit într-o astfel de poziţie ca razele care vin de la balon la ochi să poată forma cu razele solare fie un unghi de 42 de grade, fie unul de 50. Căci dacă unghiul este de vreo 42 sau 43 de grade, spectatorul (presupus în O) va vedea o culoare roşie aprinsă în partea balonului opusă Soarelui, care este prezentată în F, şi dacă acel unghi devine mai mic (de exemplu prin coborîrea balonului în E), acolo vor apărea alte culori, şi anume galben, verde şi albastru succesiv de aceeaşi parte a balonului. Dacă însă facem ca unghiul să fie de aproximativ 50 de grade (de exemplu ridicînd balonul în G), va apărea în acea parte a balonului spre Soare o culoare roşie, iar dacă mărim şi mai mult unghiul (de exemplu înălţînd balonul în H), roşul va apărea succesiv în celelalte culori : galben, verde şi albastru. Acelaşi lucru l-am observat lăsînd balonul în repaus şi ridicînd sau coborînd ochiul ori mişcîndu-l altfel pentru a da unghiului o mărime justă.

Am auzit afirmîndu-se că, dacă lumina unei lumînări se refractă printr-o prismă în ochi, atunci, cînd culoarea albastră cade în ochi, observatorul va vedea în prismă roşul, iar cînd roşul cade în ochi va vedea albastrul. Dacă acesta ar fi adevărat, culorile balonului şi ale curcubeului ar trebui să apară în ordine contrară celei pe care o vedem. Dar, culorile lumînării fiind foarte şterse, iluzia pare a proveni din dificultatea de a discerne ce culori ajung în ochi. Dimpotrivă, uneori am avut ocazia să observ în lumina solară refractată de o prismă că spectatorul vede în prismă totdeauna culoarea ce cade în ochiul său. Căci, dacă prisma se abate încet de la linia dusă direct

de la lumînare la ochi, în prismă apare mai întîi roşul şi apoi albastrul şi, prin urmare, se vede cînd fiecare dintre ele cade în ochi. Într-adevăr, mai întîi trece prin faţa ochiului roşul şi apoi albastrul.

Lumina care trece prin picăturile de ploaie după două refracţii fără nici o reflexie trebuie să apară mai intensă la o distanţă de aproximativ 26 de grade de la Soare şi să slăbească gradat fie că distanţa de la el creşte, fie că ea descreşte. Acelaşi lucru se referă şi la lumina transmisă prin boabele de grindină. Iar dacă grindina este puţin turtită, cum se întîmplă deseori, lumina transmisă poate deveni atît de intensă la o distanţă ceva mai mică de 26 de grade, încît să formeze un halou în jurul Soarelui sau al Lunii. De îndată ce boabele de grindină au forma potrivită, haloul poate fi colorat, şi atunci trebuie să fie roşu în interior, datorită razelor celor mai puţin refrangibile, şi albastru în exterior, datorită razelor celor mai refrangibile, în special dacă boabele de grindină au în centrul lor globule opace cu zăpadă care interceptează lumina din interiorul haloului (după cum a observat *Hugenius*)*, conturîndu-i mai bine interiorul decît altfel. Căci boabele de grindină de acest fel, deşi sferice, obturînd lumina prin zăpadă, pot produce un halou roşu în interior şi incolor în exterior şi mai întunecos în roşu decît în afară, cum sînt de obicei halourile. Într-adevăr, dintre razele care trec strîns pe lîngă zăpadă, cele roşietice vor fi mai puţin refractate şi astfel vin în ochi pe linia cea mai directă.

Lumina care trece printr-o picătură de ploaie după două refracţii, şi după trei sau mai multe reflexii abia dacă este destul de intensă ca să dea naştere unui curcubeu; dar în cilindrii de gheaţă prin care *Hugenius* explică *parheliile* probabil ea poate fi sesizabilă.

PROPOZIŢIA X. PROBLEMA V

Cu ajutorul proprietăţilor descoperite ale luminii să explicăm culorile permanente ale corpurilor naturale.

Aceste culori provin din faptul că unele corpuri naturale reflectă un fel de raze, iar alte corpuri alt fel de raze mai mult decît restul. Miniul reflectă mai mult razele cele mai puţin refrangibile sau producătoare de roşu şi de aceea apare roşu. Viorelele reflectă mult razele mai refrangibile şi de acolo şi au acea culoare, la fel şi celelalte corpuri. Fiecare corp reflectă razele culorii sale proprii mai

* *Christian Huygens*, Traité de la lumière, 1690.

abundent decît celelalte şi are culoarea dela excesul şi predominanţa acelor raze în lumina reflectată.

Experienţa 17. Într-adevăr, dacă în luminile omogene obţinute în soluţia problemei propusă în propoziţia a patra din partea întîi a acestei cărţi aşezaţi corpuri de diferite culori, veţi afla, după cum am verificat eu însumi, că fiecare corp apare mai strălucitor şi mai luminos în lumina culorii sale proprii. Cinabrul în lumina roşie omogenă este mai strălucitor, în lumina verde este vizibil mai puţin strălucitor, iar în cea albastră şi mai puţin. Indigoul în lumina violet-albastră este mai strălucitor şi luminozitatea lui se diminuează treptat după cum îl deplasăm prin lumina verde şi galbenă spre roşu. La praz lumina verde şi apoi cea albastră şi galbenă care compun verdele sînt reflectate mai intens decît culorile roşu şi violet şi la fel restul. Dar pentru a face ca aceste experienţe să fie mai evidente trebuie alese acele corpuri care să aibă culorile cele mai pline şi vii şi să se compare între ele două dintre aceste corpuri. Aşa, de exemplu, dacă punem alături cinabru şi ultramarin sau vreun alt albastru viu în lumină roşie omogenă, ambii vor apărea roşii, dar cinabrul va apărea de un roşu intens luminos, strălucitor şi închis, iar dacă îi aşezăm împreună în lumină albastră omogenă, ambii vor apărea albaştri, însă ultramarinul va apărea de un albastru intens luminos şi strălucitor, iar cinabrul de un albastru şters şi închis. Aceasta pune în afară de discuţie faptul că cinabrul reflectă lumina roşie mai abundent decît ultramarinul şi că ultramarinul reflectă lumina albastră mai abundent decît cinabrul. Aceeaşi experienţă poate fi efectuată cu succes cu miniu şi indigo sau cu alte două corpuri colorate dacă ţinem bine seama de intensitatea mai mare sau mai mică a culorilor şi a luminii lor.

Aşa dar, cauza culorilor corpurilor naturale este evidentă din aceste experienţe; de altfel ea a fost confirmată şi pusă în afara oricărei discuţii prin primele două experienţe din partea întîi, în care s-a dovedit la astfel de corpuri că razele de lumină reflectată care diferă ca culoare se deosebesc şi în gradele lor de refrangibilitate. De aici rezultă în mod cert că unele corpuri reflectă mai mult razele mai refrangibile, iar altele cele mai puţin refrangibile.

Iar faptul că aceasta nu este numai cauza adevărată a acestor culori, ci chiar singura cauză, mai poate apărea şi din consideraţia că culoarea luminii omogene nu poate fi schimbată prin reflexia corpurilor naturale.

Într-adevăr, dacă corpurile nu pot schimba cît de puţin prin reflexie culoarea vreunui fel de raze, ele nu pot apărea colorate prin

nici un alt mijloc decît reflectînd acele raze care fie că au aceeaşi culoare cu ele, fie că trebuie s-o producă prin amestec.

Cînd efectuăm experienţe de acest fel trebuie să avem grijă ca lumina să fie suficient de omogenă. Căci dacă luminăm corpurile cu culorile prismatice ordinare, ele nu vor apărea nici în culorile pe care le au la lumina zilei, nici în culoarea luminii ce cade pe ele, ci într-o culoare oarecare intermediară, după cum am găsit prin experienţă. Astfel, de exemplu, miniul luminat cu un verde prismatic ordinar nu va apărea nici roşu, nici verde, ci portocaliu sau galben ori între galben şi verde, după cum lumina verde cu care este luminat este mai mult sau mai puţin compusă. Într-adevăr, deoarece miniul apare roşu cînd este luminat cu lumină albă, în care sînt amestecate în mod egal toate felurile de culori, iar în lumina verde nu sînt amestecate în mod egal toate felurile de raze, excesul celor producătoare de galben, verde şi albastru în lumina verde incidentă va face ca acele raze să fie atît de abundente în lumina reflectată, încît să deplaseze culoarea de la roşu spre culoarea lor. Fiindcă miniul reflectă razele producătoare de roşu mai abundent, proporţional cu numărul lor, şi imediat după ele vor fi razele producătoare de portocaliu şi galben, aceste raze în lumina reflectată vor fi în proporţie mai mare către lumina totală decît erau către lumina verde incidentă, de aceea vor deplasa lumina reflectată de la verde spre culoarea lor. În consecinţă, miniul nu va apărea nici roşu, nici verde, ci de o culoare intermediară.

În lichidele transparente colorate se observă că culoarea lor de obicei variază cu grosimea stratului. Aşa, de exemplu, unlichid roşu dintr-o sticlă conică ţinut între lumină şi ochi, prezintă la fund, unde stratul este îngust, un galben pal şi slab, iar ceva mai sus, unde acesta este mai gros, trece în portocaliu; unde stratul este mai gros devine roşu, iar unde este şi mai gros roşul este foarte închis şi întunecat. Se înţelege că un astfel de lichid opreşte razele producătoare de indigo şi violet mai uşor, cele producătoare de albastru mai greu, cele producătoare de verde şi mai greu, iar cele producătoare de roşu cel mai greu; dacă grosimea stratului de lichid este atît de mare încît să oprească un număr corespunzător de raze producătoare de violet şi indigo fără a micşora numărul celorlalte, restul trebuie (potrivit propoziţiei VI, partea a II-a) să compună un galben-pal. Dacă însă stratul lichidului este atît de gros încît opreşte şi un număr mare de raze producătoare de albastru şi o parte din cele producătoare de verde, restul trebuie să compună un portocaliu, iar unde este atît de gros încît opreşte şi un mare număr de raze producătoare de verde şi un număr considerabil de raze producătoare de galben, restul trebuie

să înceapă a compune un roşu, şi acest roşu să devină mai închis şi mai întunecat după cum razele producătoare de galben şi de portocaliu sînt din ce în ce mai mult oprite cu creşterea grosimii stratului de lichid, astfel că puţine raze, în afară de cele producătoare de roşu pot să-l traverseze.

O astfel de experienţă mi-a relatat-o de curînd d. *Halley*,* care, cufundîndu-se adînc în mare cu un vas cufundător, a observat într-o zi senină luminoasă cu soare, cînd era la adîncime de cîţiva stînjeni marini** în apă, că partea de sus a mîinii sale, pe care lumina solară cădea direct prin apă şi printr-o fereastră mică de sticlă în vas, apărea într-o culoare roşie asemănătoare cu a trandafirului de Damasc, pe cînd apa de dedesubt şi din partea de jos a mîinii, luminată de lumina reflectată de apa de dedesubt, apărea verde. De aici se poate deduce că apa mării reflectă mai uşor razele producătoare de violet şi albastru şi lasă să treacă mai uşor şi mai mult pînă la mari adîncimi razele producătoare de roşu. De aceea lumina solară directă la cele mai mari adîncimi, datorită predominării razelor producătoare de roşu, trebuie să apară roşie; cu cît este adîncimea mai mare, cu atît trebuie să fie roşul mai plin şi mai intens. La o adîncime în care razele producătoare de violet abia pot pătrunde, razele producătoare de albastru, verde şi galben fiind reflectate de jos mai abundent decît cele producătoare de roşu, trebuie să compună un verde.

Dacă avem două lichide de culori bine definite, de exemplu roşu şi albastru, şi fiecare dintre ele fiind într-un strat atît de gros încît să prezinte culorile lor în toată plinătatea, atunci, deşi fiecare lichid este destul de transparent, totuşi nu veţi reuşi să priviţi prin amîndouă. Căci dacă printr-unul trec numai razele producătoare de roşu, iar prin celălalt numai cele producătoare de albastru, nici o rază nu le va traversa pe amîndouă. Aceasta a verificat-o întîmplător d. *Hooke* *** cu sticle în formă de pană umplute cu lichide roşii şi albastre şi a fost surprins de priveliştea neaşteptată, a cărei cauză atunci era necunoscută; aceasta mă face să dau mai multă crezare experienţei sale, cu toate că eu însumi nu am făcut-o. Dar cine vrea s-o repete trebuie să ia măsuri ca lichidele să fie de culoare pură şi intensă.

Deoarece corpurile îşi capătă culoarea prin reflexia sau prin transmiterea unui sau altui fel de raze mai abundente decît a restului, este de înţeles că ele opresc şi absorb razele pe care nu le reflectă sau

---

* În 1716.

** 1 stînjen marin = 1,82 m.

*** *Micrographia*, 1665.

nu le transmit. Într-adevăr, dacă ţineţi între ochi şi lumină o foiţă de aur lumina, apare verde-albăstruie şi de aceea aurul masiv lasă să intre în interiorul său razele producătoare de albastru şi să se reflecte dintr-o parte în alta pînă ce sînt oprite şi absorbite, în timp ce reflectă în exterior cele care produc galbenul şi de aceea se vede galben. În acelaşi fel, după cum foiţa de aur este galbenă în lumina reflectată şi albastră în cea transmisă, iar aurul masiv este galben în toate poziţiile faţă de ochi, sînt şi cîteva lichide, ca tinctura de *lignum nephriticum*, şi unele soiuri de sticlă. care transmit un gen de lumină mai abundent şi pe un altul îl reflectă, şi de aceea se văd în diverse culori după poziţia ochiului faţă de lumină. Dar dacă aceste lichide sau sticle ar fi atît de groase şi de masive încît nici o lumină să nu poată trece prin ele, sînt sigur că ele vor apărea într-una şi aceeaşi culoare ca şi corpurile opace în toate poziţiile lor faţă de ochi, deşi nu afirm aceasta din experienţă, ci după observaţiile mele. Toate corpurile colorate pot fi făcute străvezii dacă sînt de ajuns de subţiri şi, prin urmare, sînt într-o anumită măsură transparente şi se deosebesc de lichidele colorate transparente numai prin gradul de transparenţă; aceste lichide, ca şi acele corpuri, la o grosime suficientă devin opace. Un corp transparent care apare într-o culoare în lumină transmisă poate apărea în aceeaşi culoare în lumină reflectată, lumina acelei culori fiind reflectată de suprafaţa posterioară a corpului sau de aerul din spatele lui. Atunci culoarea reflectată va slăbi şi poate va dispărea dacă facem ca corpul să fie foarte gros şi acoperindu-i spatele cu smoală pentru a-i micşora reflexia la suprafaţa posterioară, astfel ca să poată predomina lumina reflectată de particulele colorate. În astfel de cazuri, culoarea luminii reflectate va putea diferi de aceea a luminii transmise. Cauza pentru care corpurile şi lichidele colorate reflectă un anumit fel de raze şi pe altele le lasă să intre sau le transmit se va arăta în cartea următoare. În această propoziţie mă mulţumesc de a fi pus în afară de orice discuţie faptul că corpurile posedă astfel de proprietăţi şi de aceea apar colorate.

PROPOZIŢIA XI. PROBLEMA VI

Să compunem într-un amestec de lumini colorate un fascicul de lumină de aceeaşi culoare şi natură cu un fascicul de lumină solară directă şi de aici să verificăm adevărul propoziţiilor precedente.

Fie *ABC abc* (fig. 16) o prismă în care lumina solară, care intră într-o cameră întunecată prin orificiul *F*, poate fi refractată spre lentila *MN* şi produce pe ea în *p*, *q*, *r*, *s* şi *t* culorile obişnuite: violet, albastru, verde, galben şi roşu, şi să facem ca razele divergente să conveargă prin refracţie printr-o lentilă din nou spre *X*, iar acolo, amestecîndu-se toate culorile, să compună un alb, după cum s-a

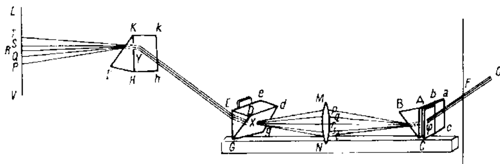


Fig. 16

arătat mai sus. Să aşezăm apoi în *X* o a doua prismă *DEGdeg* paralel cu cea dintîi, ca să refracte acea lumină albă în sus spre *Y*. Fie unghiurile de refracţie ale prismei egale şi la distanţe egale de lentilă, astfel că razele care converg de la lentilă spre *X* fără refracţie vor fi acolo încrucişate şi iarăşi făcute să diveargă, putînd fi reduse printr-o refracţie în a doua prismă la paralelism şi să nu mai fie divergente. Atunci acele raze vor recompune o lumină albă *XY*. Dacă unghiul de refracţie al uneia dintre cele două prisme este mai mare, acea prismă trebuie să fie cu atît mai aproape de lentilă. Veţi constata, dacă prisma şi lentila sînt bine potrivite între ele, că fasciculul de lumină *XY* ce iese din prisma a doua este perfect alb pînă la marginile extreme ale luminii şi continuă să rămînă perfect şi total alb la fel ca un fascicul de lumină solară. Pînă cînd nu are loc acest fapt, trebuie să corectăm poziţiile prismelor şi lentilei una faţă de alta; apoi, dacă ele se fixează în acea poziţie cu ajutorul unei grinzi de lemn, cum e reprezentat în figură, sau cu un tub ori cu un alt instrument de acest fel făcut în acest scop, puteţi încerca cu ajutorul fasciculului de lumină compusă *XY* toate experienţele ce s-au făcut cu lumina solară directă. Întradevăr, acest fascicul de lumină compusă, după cît îmi permit observaţiile, are acelaşi aspect şi este înzestrat cu toate proprietăţile

pe care le posedă un fascicul direct de lumină solară. Încercînd experienţe cu acest fascicul, puteţi vedea că, dacă opriţi oricare din culorile *p*, *q*, *r*, *s* şi *t* la lentilă, culorile produse experimental nu sînt altele decît acelea pe care le aveau razele la lentilă înainte ca ele să fi intrat în compunerea acestui fascicul; în consecinţă, ele nu provin din vreo nouă modificare a luminii prin refracţii şi reflexii, ci prin variatele separări şi amestecuri ale razelor iniţial înzestrate cu calităţile lor producătoare de culori.

De exemplu, formînd cu o lentilă lată de 4 1/2 inch şi două prisme la cîte 6 1/4 picioare depărtare de lentilă un astfel de fascicul de lumină compusă pentru a examina cauza culorilor produse de prismă, am refractat fasciculul *XY* de lumină compusă cu o altă prismă *HIKkh* şi apoi am proiectat culorile prismatice *PQRST* pe hîrtia *LV*, aşezată în spate. Oprind atunci una dintre culorile *p*, *q*, *r*, *s*, *t* de la lentilă, am găsit că aceeaşi culoare dispare şi de pe hîrtie. Dacă opream la lentilă purpuriul *p*, atunci dispărea imediat purpuriul *P* de pe hîrtie, iar celelalte culori rămîneau complet neschimbate, eventual cu excepţia albastrului, întrucît puţin purpuriu, fiind încă ascuns în el la lentilă, era îndepărtat sau separat de albastru prin refracţiile următoare. În acest fel, interceptînd verdele la lentilă, dispărea şi verdele *R* de pe hîrtie şi la fel restul, ceea ce ne arată lămurit că, după cum fasciculul de lumină albă *XY* era compus din diferite lumini colorate variat la lentilă, tot aşa culorile care după aceea emerg din ea prin noi refracţii nu sînt altceva decît acelea din care era compus albul lui. Refracţia prismei *HIKkh* nu generează culorile *PWRST* pe hîrtie schimbînd calităţile de culoare ale razelor, ci separînd razele care aveau exact aceleaşi calităţi de culoare înainte de a intra în compunerea fasciculului refractat de lumină albă *XY*. Altfel razele care erau de o culoare la lentilă pot avea alta pe hîrtie, ceea ce este contrar cu ceea ce observăm.

Pentru a mai examina o dată cauza culorilor corpurilor naturale am aşezat astfel de corpuri în fasciculul de lumină *XY* şi am constatat că acolo toate apăreau în culorile lor proprii pe care le au în lumina zilei şi că acele culori depind de razele care aveau aceleaşi culori la lentilă înainte de a intra în compunerea fasciculului. Aşa, de exemplu, cinabrul luminat de acest fascicul apare în aceeaşi culoare roşie ca în lumina zilei; dacă la lentilă interceptaţi razele producătoare de verde şi de albastru, roşul lui va deveni mai plin şi mai viu. Dacă însă interceptaţi razele producătoare de roşu, el nu va mai apărea roşu, ci devine galben sau verde ori altă culoare, după felurile

razelor pe care nu le interceptaţi. Astfel aurul în lumina XY apare de aceeaşi culoare galbenă ca în lumina zilei, dar, interceptînd la lentilă o cantitate potrivită de raze producătoare de galben, va apărea alb ca argintul (după cum am verificat), ceea ce arată că albul lui depinde de excesul razelor interceptate ce colorează acel alb cu culoarea lor cînd sînt lăsate să treacă. La fel infuzia de *lignum nephriticum* (după cum de asemenea am verificat), cînd este ţinută în fasciculul de lumină XY, apare albastră în partea reflectată a luminii şi roşie în partea ei transmisă, ca atunci cînd o privim în lumina zilei; dar, dacă interceptaţi albastrul la lentilă, infuzia îşi va pierde culoarea albastră reflectată pe cînd roşul ei transmis rămîne perfect, iar la pierderea unor raze producătoare de albastru, cu care era amestecat, devine mai intens şi mai plin. Dimpotrivă, dacă la lentilă se interceptează razele producătoare de roşu şi de portocaliu, influzia îşi va pierde roşul transmis, în timp ce albastrul va rămîne şi va deveni mai plin şi mai perfect. Aceasta dovedeşte că infuzia nu colorează razele în albastru şi roşu, ci numai transmite mai abundent pe acelea care mai înainte erau producătoare de roşu şi reflectă mai abundent pe acelea care mai înainte erau producătoare de albastru. În acelaşi fel se pot examina cauzele altor fenomene, făcînd experienţe cu ele în fasciculul artificial de lumină XY.

Cartea a doua
a
OPTICII

PARTEA I

Observații privitoare la reflexiile, refracțiile și culorile corpurilor subțiri transparente.

S-a observat de către alții* că substanțe transparente, ca sticla, aerul etc., dacă le suflăm în bule foarte subțiri sau printr-un alt mod le dăm o formă de plăci, prezintă diverse culori, potrivit diferitelor lor grosimi, cu toate că la grosimi mai mari ele apar foarte clare și incolore. În cartea I precedentă m-am abținut de la tratarea acestor culori, pentru că păreau mai greu de considerat și nu erau necesare pentru stabilirea proprietăților luminii discutate acolo. Dar fiindcă ele pot duce la noi descoperiri pentru completarea teoriei luminii, în special în ce privește constituția părților corpurilor naturale, de care depind culorile și transparența lor, voi face aici o expunere a lor. Pentru a face expunerea scurtă și clară voi descrie mai întîi observațiile mele principale și apoi le voi considera și mă voi folosi de ele. Observațiile sînt următoarele.

Observația 1. Apăsînd cu putere două prisme una de cealaltă, astfel ca fețele lor (care din întîmplare erau foarte puțin convexe) să ajungă undeva în contact, am găsit că locul în care se atingeau devenea absolut transparent, ca și cînd acolo ar fi fost o bucată continuă de sticlă. Într-adevăr, cînd lumina cădea atît de oblic pe aerul care se afla în unele locuri între ele încît era în întregime reflectată, în locul de contact părea că este total transmisă, atît de mult încît, dacă o priveam, apărea ca o pată neagră sau întunecoasă din cauză că de acolo se reflecta lumină foarte puțină sau imperceptibilă, nu

---

* Exprimare vagă. De fapt singur Hooke, pe care Newton nu-l amintește aici, a observat înaintea lui că culorile lamelor subțiri depind de grosimea acestora.

ca din celelalte părţi; dacă priveam prin ea, părea (cum şi era) ca un gol în aerul care alcătuia o pătură îngustă, fiind comprimat între sticle. Prin acest gol se puteau vedea distinct obiecte situate dincolo, care nu puteau fi văzute de loc prin celelalte părţi ale sticlei unde se interpunea aerul. Deşi sticlele erau puţin convexe, totuşi această pată transparentă era considerabil de largă; lărgimea ei părea că provine mai cu seamă din cedarea către interior a părţilor sticlelor în urma presiunii lor una pe alta. Căci prin presarea lor reciprocă foarte intensă ea devenea cu mult mai largă decît altfel.

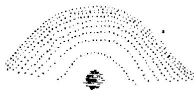


Fig. 1

Observaţia 2. Dacă prin rotirea prismelor stratul de aer din jurul axei lor comune devenea atît de puţin înclinat faţă de razele incidente încît unele dintre ele începeau să fie transmise, în el luau naştere mai multe arce înguste, de culori care la început aveau mai mult forma unei concoide *, după cum le vedeţi trasate în figura 1. Prin continuarea rotaţiei prismei, arcele creşteau şi se încovoiau din ce în ce mai mult în jurul petei transparente amintite, pînă ce se întregeau în cercuri sau în inele** în jurul ei şi după aceea se contractau din ce în ce mai mult.

La prima lor apariţie, aceste inele erau de o culoare violetă şi albastră şi între ele se aflau arce albe de cercuri, care acum, prin continuarea rotaţiei prismei, se colorau puţin la marginile lor interioare în roşu şi galben, iar marginile exterioare erau învecinate de albastru. În acest fel, ordinea culorilor de la pata întunecoasă era în acel moment alb, albastru, violet, negru, roşu, portocaliu, galben, alb, albastru, violet etc. Galbenul şi roşul erau însă cu mult mai slabe decît albastrul şi violetul.

Continuînd rotaţia prismelor în jurul axei lor comune, culorile se contractau tot mai mult, strîngîndu-se din amîndouă părţile spre ea pînă ce dispăreau cu totul în aceasta. Atunci cercurile apăreau în acele părţi negre şi albe fără amestecul vreunei culori. Dar, con-

* Curbă algebrică plană de gradul 4 de forma unei scoici construită de geometrul grec Nicomede (250—150 î.e.n.) şi folosită de el la rezolvarea problemei trisecţiunii unghiului şi a dublării cubului. Newton a dat o mare atenţie acestei curbe de care s-a servit la reprezentarea geometrică a tuturor ecuaţiilor de gradul 3 şi 4.

** Aceste figuri colorate poartă azi numirea de *inelele lui Newton.*

ținuînd rotația prismei și mai departe, culorile apăreau din nou din alb: la marginea interioară violetul și albastrul, iar roșul și galbenul la cea exterioară. Astfel acum ordinea lor de la pata centrală era alb, galben, roșu, negru, violet, albastru, alb, galben, roșu etc., inversă celei de mai înainte.

Observația 3. Cînd inelele sau anumite părți ale lor apăreau numai albe și negre, ele erau foarte distincte și bine definite, iar negrul lor părea tot atît de intens ca și cel al petei centrale. Chiar la marginile inelelor, unde culorile începeau să apară din alb, ele erau foarte distincte, ceea ce făcea să fie vizibilă o mulțime foarte mare dintre ele. Eu am numărat uneori peste treizeci de succesiuni (considerînd fiecare negru și alb ca o succesiune) și am văzut și mai multe, pe care, din cauza îngustimii lor, nu le-am putut număra. În alte poziții ale prismelor însă, în care inelele apăreau în mai multe culori, nu am putut distinge mai mult de opt sau nouă și exteriorul lor era foarte confuz și șters.

În aceste două observații, pentru a vedea inelele distinct și fără vreo altă culoare decît alb și negru, am găsit că trebuie să-mi țin ochiul la o distanță bună de ele. Într-adevăr, la o apropiere mai mare, chiar la aceeași înclinare a ochiului față de planul inelelor, se ivea din alb o culoare albăstruie, care, diluîndu-se tot mai mult în negru, făcea culorile mai puțin distincte, lăsînd albul puțin colorat cu roșu și galben. De asemenea, privind printr-o crăpătură sau o deschidere lunguiață, care era mai îngustă decît pupila ochiului meu și ținută aproape de el și paralel cu prisma, am putut vedea cercurile mult mai distinct și vizibil în număr mai mare decît altfel.

Observația 4. Pentru a observa mai minuțios ordinea culorilor care apăreau din cercurile albe cînd razele deveneau din ce în ce mai înclinate față de stratul de aer, am luat două lentile-obiectiv: una planconvexă de la un telescop de patrusprezece picioare, iar cealaltă mare, biconvexă, de la unul de aproximativ cincizeci picioare; așezînd-o pe aceasta peste cealaltă cu fața sa plană în jos, le-am presat ușor una pe alta ca să fac să apară culorile succesiv în mijlocul cercurilor, apoi am ridicat sticla de sus de pe cea de jos pentru a le face să dispară iarăși succesiv în același loc. La apăsarea reciprocă a sticlelor, culoarea care apărea ultima în mijlocul celorlalte culori avea la prima sa apariție aspectul unui cerc de o culoare aproape uniformă de la circumferință spre centru și, prin comprimarea mai mare a lentilelor, devenea încontinuu mai mare, pînă ce în centrul ei apărea o nouă culoare și astfel devenea un inel care cuprindea acea nouă culoare. Apăsînd lentilele și mai mult, diametrul aces-

tui inel creştea, în timp ce lăţimea orbitei sau perimetrului său descreştea pînă ce apărea o nouă culoare în centrul celui din urmă şi aşa mai departe pînă ce apăreau succesiv o a treia, a patra, a cincea şi alte culori noi şi deveneau inele care cuprindeau culoarea cea mai din interior, ultima fiind pata neagră. Dimpotrivă, ridicînd lentila de sus de pe cea de jos, diametrul inelelor descreştea, iar lăţimea orbitelor lor creştea pînă ce culorile lor ajungeau în centru; atunci, devenind considerabil de late, am putut deosebi şi distinge felurile lor mai uşor decît înainte. Prin acest mijloc am observat succesiunea şi intensităţile lor după cum urmează.

După pata centrală transparentă născută la contactul lentilelor urma albastrul, albul, galbenul şi roşul. Albastrul era în cantitate atît de mică, încît nu l-am putut distinge în cercurile produse de prisme, nu am putut deosebi aici nici violetul, în schimb însă galbenul şi roşul erau în mare cantitate şi păreau aproape tot atît de extinse ca şi albul şi de patru sau cinci ori mai mult decît albastrul. Următorul circuit în ordinea culorilor, cuprinzîndu-l imediat pe acesta, era alcătuit din violet, albastru, verde, galben şi roşu şi toate acestea erau intense şi vii, cu excepţia verdelui, care era în cantitate foarte mică şi părea cu mult mai slab şi mai diluat decît celelalte culori. Dintre celelalte patru, violetul era cel mai puţin extins, iar albastrul mai puţin decît galbenul sau roşul. Circuitul sau ordinul al treilea conţinea purpuriul, albastrul, verdele, galbenul şi roşul; în acesta purpuriul părea mai roşiatic decît violetul din circuitul precedent, iar verdele era cu mult mai bătător la ochi, fiind mai viu şi mai intens ca oricare din celelalte culori, cu excepţia galbenului, însă roşul începea să fie puţin şters, înclinînd foarte mult spre purpuriu. După acesta urma al patrulea circuit din verde şi roşu. Verdele era foarte intens şi viu, înclinînd de o parte spre albastru, de cealaltă parte spre galben. Dar în acest al patrulea circuit nu era nici violet, nici albastru sau galben, iar roşul era foarte imperfect şi impur. Culorile care urmau de asemenea deveneau tot mai imperfecte şi mai diluate pînă ce, după trei sau patru revoluţii, se terminau printr-un alb desăvîrşit. Forma lor, cînd lentilele erau atît de apăsate încît făceau să apară în centru pata neagră, este schiţată în figura 2, unde *a*, *b*, *c*, *d*, *e*; *f*, *g*, *h*, *i*,*k*; *l*, *m*, *n*, *o*, *p*; *q*, *r*; *s*, *t*; *v*, *x*; *y*, *z* reprezintă culorile considerate pe rînd de la centru: negru, albastru, verde, galben, roşu; purpuriu, albastru, verde, galben, roşu; verde, roşu albastru verzui, roşu pal; albastru verzui, alb roşiatic.

Observația 5. Pentru a determina intervalul dintre lentilă sau grosimea aerului interpus la care se producea fiecare culoare, am măsurat diametrele primelor șase inele în partea cea mai luminoasă a orbitelor lor și, ridicîndu-le la pătrat, am găsit că pătratele sînt în progresia aritmetică a numerelor fără soț : 1, 3, 5, 7, 9, 11. Fiindcă una dintre aceste lentile era plană, iar cealaltă sferică, inter-

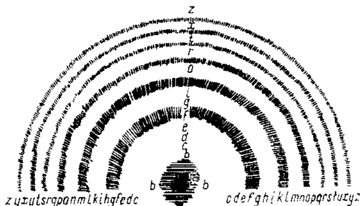


Fig. 2

valele lor pînă la aceste inele trebuie să fie în aceeași progresie. Am măsurat de asemenea diametrele inelelor negre sau neclare dintre culorile mai vii și am aflat că pătratele lor sînt în progresia aritmetică a numerelor cu soț : 2, 4, 6, 8, 10, 12. Fiind foarte minuțios și dificil să efectuez măsurătorile exact, le-am repetat de mai multe ori în diferite părți ale lentilelor și prin concordanța lor am putut să le confirm. Am folosit aceeași metodă și la determinarea unora dintre observațiile următoare.

Observația 6. Diametrul inelului al șaselea în partea cea mai luminoasă a orbitei sale era de $\frac{58}{100}$ inch, iar diametrul sferei din care era șlefuită lentila obiectiv biconvexă era de aproximativ 102 picioare și de acolo am dedus grosimea aerului sau intervalul de aer dintre lentile la acel inel. Dar apoi am bănuit că, făcînd aceste observații, nu am determinat diametrul sferei cu precizie suficientă, nefiind sigur dacă lentilele plan-convexe erau cu adevărat plane și nu puțin convexe sau concave pe partea pe care o consideram plană; atunci cînd nu apăsam lentilele una pe alta cum aveam obiceiul ca să le aduc în contact (căci la presarea reciprocă a acestor lentile păr-

ţile lor cedau uşor spre interior şi deci inelele deveneau simţitor mai largi decît dacă lentilele şi-ar fi păstrat forma). Am repetat experienţa şi am găsit că diametrul inelului al şaselea luminos era de $\frac{55}{100}$ inch. Am repetat experienţa şi cu o lentilă-obiectiv a unui alt telescop pe care-l aveam la îndemînă. Aceasta era biconvexă, şlefuită de ambele părţi după aceeaşi sferă, iar focarul ei era la o distanţă de $83\frac{2}{5}$ inch de ea. De aici, dacă sinusul de incidenţă şi de refracţie al luminii galbene strălucitoare se ia în raport de 11/17, diametrul sferei după care a fost modelată lentila se găseşte că este de 182 inch. Eu am pus această lentilă peste una plană, astfel că pata neagră apărea în mijlocul inelelor colorate fără nici o altă apăsare decît cea a greutăţii sticlei. Măsurînd acum cît am putut de precis diametrul celui de-al cincilea cerc colorat, am aflat că are precis o cincime de inch. Această măsură a fost luată cu vîrfurile unui compas la suprafaţa superioară a sticlei de sus, iar ochiul meu era la vreo opt sau nouă inch depărtare de sticlă, aproape perpendicular deasupra ei, iar sticla avea grosimea de 1/6 inch. De aici este uşor de aflat că diametrul adevărat al inelului dintre sticle era mai mare decît diametrul său măsurat deasupra sticlei, aproape în raportul de 80/79 şi, în consecinţă, egal cu $\frac{16}{79}$ inch, iar semidiametrul său adevărat cu $\frac{8}{70}$ inch. Apoi, după cum este diametrul sferei (182 inch) către semidiametrul celui de-al cincilea inel întunecos $\left(\frac{8}{79}\text{ inch}\right)$, la fel este acest semidiametru către grosimea aerului la al cincilea inel întunecos, care, prin urmare, este de $\frac{32}{567\,931}$ sau $\frac{100}{1\,774\,784}$ inch, şi de aici a cincea parte, adică $\frac{1}{88\,739}$ inch, este grosimea aerului la primul inel negru.

Aceeaşi experienţă am repetat-o cu altă lentilă-obiectivă biconvexă, şlefuită în ambele părţi după aceeaşi sferă. Focarul ei era la o distanţă de $168\frac{1}{2}$ inch şi, prin urmare, diametrul sferei era de 184 inch. Această sferă fiind pusă pe aceeaşi sticlă plană, diametrul celui de-al cincilea sau al şaselea inel întunecos, cînd pata neagră din centrul lor apărea clar fără apăsarea sticlelor, prin măsurarea

cu compasul pe sticla superioară era de $\frac{121}{600}$ inch, și, în consecință, între lentile era $\frac{1\,222}{6\,000}$, căci lentila de sus avea grosimea de $\frac{1}{8}$ inch, iar ochiul meu era la o distanță de 8 inch de ea. Al treilea raport între jumătatea lui și diametrul sferei este de $\frac{5}{88\,850}$ inch. Așadar, aceasta este grosimea aerului la acest inel, iar a cincea parte din ea, adică $\frac{1}{88\,850}$ inch, este grosimea luila primul inel, ca mai sus.

Am încercat același lucru așezînd aceste lentile-obiectiv pe bucăți plane de oglindă spartă și am găsit aceleași măsuri ale inelelor, ceea ce mă face să le accept pînă ce vor putea fi determinate mai precis cu lentile modelate după sfere mai mari, deși la astfel de lentile se cere o mai mare grijă la suprafața plană.

Aceste dimensiuni au fost luate cînd ochiul meu era plasat aproape perpendicular deasupra sticlei, fiind la o distanță cam de un inch sau de un inch și un sfert de raza incidentă și la o distanță de opt inch de sticlă, astfel că razele erau înclinate față de sticlă cu un unghi de vreo patru grade. Din observațiile următoare veți înțelege că, dacă razele ar fi fost perpendiculare pe sticle, grosimea aerului la aceste inele ar fi fost mai mică în raportul razei către secanta de patru grade, adică de 10 000 la 10 024. Să micșorăm deci grosimile aflate în acest raport și ele vor deveni $\frac{1}{88\,952}$ și $\frac{1}{89\,063}$ sau (ca să utilizăm numărul rotund cel mai apropiat) $\frac{1}{89\,000}$ inch. Aceasta este grosimea aerului în partea cea mai întunecoasă a primului inel negru, format de raze perpendiculare; jumătatea acestei grosimi înmulțită cu progresia 1, 3, 5 ,7, 9, 11 etc. ne dă grosimea aerului la părțile cele mai luminoase ale inelelor mai strălucitoare, adică $\frac{1}{178\,000}$, $\frac{3}{178\,000}$, $\frac{5}{178\,000}$, $\frac{7}{178\,000}$ etc., mediile lor aritmetice $\frac{2}{178\,000}$, $\frac{4}{178\,000}$, $\frac{6}{178\,000}$ etc. fiind grosimea lor la părțile cele mai întunecoase ale tuturor inelelor întunecate.

Observația 7. Inelele erau minime cînd ochiul meu era plasat pe axa inelelor perpendicular pe lentile, iar cînd le priveam oblic

deveneau mai mari, crescînd într-una pe măsură ce-mi depărtam ochiul de axă. Măsurînd diametrul aceluiaşi cerc la diferite înclinaţii ale ochiului sau prin alte mijloace şi folosind pentru înclinaţii foarte mari cele două prisme, am găsit că diametrul lui şi, în consecinţă, grosimea aerului la perimetrul său pentru toate aceste înclinaţii este aproximativ în proporţiile exprimate în acest tabel.

Unghi de incidenţă în aer		Unghi de refracţie în aer		Diametrul inelului	Grosimea aerului
Grade	Min.	Grade	Min.		
00	00	00	00	10	10
06	26	10	00	$10\frac{1}{13}$	$10\frac{2}{13}$
12	45	20	00	$10\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$
18	49	30	00	$10\frac{3}{4}$	$11\frac{1}{2}$
24	30	40	00	$11\frac{2}{5}$	13
29	37	50	00	$12\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{2}$
33	58	60	00	14	20
35	47	65	00	$15\frac{1}{4}$	$23\frac{1}{4}$
37	19	70	00	$16\frac{4}{5}$	$28\frac{1}{4}$
38	33	75	00	$19\frac{1}{4}$	37
39	27	80	00	$22\frac{6}{7}$	$52\frac{1}{4}$
40	0	85	00	29	$84\frac{1}{12}$
40	11	90	00	35	$122\frac{1}{2}$

În primele două coloane sînt exprimate înclinațiile razelor incidente și emergente față de lamele de aer, adică unghiurile de incidență și de refracție. În coloana a treia, diametrul fiecărui inel colorat pentru aceste înclinații este exprimat în părți, din care zece reprezintă diametrul cînd razele sînt perpendiculare. În coloana a patra grosimea aerului inelului este exprimată în părți, din care zece reprezintă grosimea lui cînd razele sînt perpendiculare.

Din aceste măsurători am formulat următoarea regulă: grosimea aerului e proporțională cu secanta unui unghi al cărui sinus este o anumită medie proporțională între sinusurile de incidență și de refracție. Această medie proporțională, atît cît am putut s-o determin prin aceste măsurători, este prima dintr-o sută și șase medii aritmetice proporționale între aceste sinusuri calculate de la sinusul cel mai mare, adică de la sinusul de refracție atunci cînd refracția are loc din sticlă în stratul de aer sau de la sinusul de incidență cînd refracția se face din lamela de aer în sticlă.

Observația 8. Pata neagră din mijlocul inelelor de asemenea creștea cu înclinarea ochiului, deși aproape pe nesimțite. Dacă în loc de lentile obiectiv întrebuințam prisme, creșterea ei era mai pronunțată atunci cînd era privită atît de oblic încît nu apărea în jurul ei nici o culoare. Ea era minimă cînd razele cădeau mai oblic pe aerul interpus, iar cînd înclinația descreștea, ea creștea tot mai mult pînă ce apăreau inelele colorate și apoi descreștea din nou, însă nu atît de mult cît crescuse înainte. De aici este evident că transparența nu există numai la contactul perfect al sticlelor, ci și cînd între ele există un mic interval. Am observat uneori că diametrul petei se afla între jumătate și două cincimi ale diametrului circumferinței exterioare a roșului în primul circuit sau revoluție a culorilor cînd erau privite aproape perpendicular, în timp ce, dacă erau privite oblic, ea dispărea complet și devenea opacă și albă la fel cu celelalte părți ale sticlei, de unde se poate deduce că, atunci sticlele abia se atingeau sau nu se atingeau de loc și că intervalul lor la perimetrul acestei pete cînd era privită perpendicular era de aproximativ a cincea sau a șasea parte din intervalul lor la circumferința roșului menționat.

Observația 9. Privind prin cele două lentile-obiectiv în contact, am observat că aerul interpus prezenta inele colorate atît prin transmiterea luminii, cît și prin reflexia ei. Pata centrală era acum albă și ordinea culorilor de la ea era roșu-gălbui; negru, violet, albastru, alb, galben, roșu; violet, albastru, verde, galben, roșu etc. Dar aceste culori erau foarte slabe și diluate, în afară de cazul cînd

lumina era transmisă foarte oblic prin lentile şi în acest fel ele deveneau relativ vii. Numai primul roşu-gălbui, la fel ca albastrul din observaţia a patra, era atît de puţin şi de slab, încît abia se putea observa. Comparînd inelele colorate născute prin reflexie cu cele formate prin transmisia luminii, am găsit că albul era opus negrului, roşul albastrului, galbenul violetului, iar verdele unui amestec de

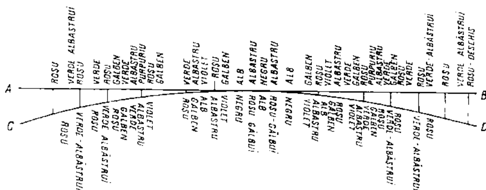


Fig. 3

roşu şi violet. Adică, privind prin lentilă, acele părţi ale ei erau negre care apăreau albe cînd priveam asupra ei şi invers. Astfel cele care într-un caz prezentau albastru în celălalt prezentau roşu şi la fel despre celelalte culori. Aceasta o vedeţi reprezentată în figura 3, unde AB, CD sînt suprafeţele lentilelor în contact cu E, iar liniile negre dintre ele sînt distanţele lor în progresie aritmetică şi culorile scrise deasupra sînt cele văzute în lumina reflectată, iar cele dedesubt în lumina transmisă.

Observaţia 10. Udînd puţin sticlele la margini, apa pătrundea încet între ele şi prin aceasta cercurile deveneau mai mici, iar culorile mai slabe, pînă cînd apa se infiltra; jumătate din ele la care apa ajungea mai repede apărea ruptă de cealaltă jumătate, şi se contracta într-un spaţiu mai mic. Măsurîndu-le, am găsit că raportul dintre diametrele lor şi diametrele cercurilor asemănătoare formate de aer este de aproape şapte la opt şi, în consecinţă, intervalele dintre sticle la aceleaşi cercuri, produse de cele două medii, apă şi aer, sînt aproximativ ca trei la patru. Probabil este o lege generală că, dacă introducem între sticle orice alt mediu mai mult sau mai puţin dens decît apa, intervalele lor la inelele produse în acest fel vor fi către interva-

lele cauzate de aerul interpus în raportul în care sînt sinusurile care măsoară refracţia produsă din acel mediu în aer.

Observaţia 11. Cînd era apă între lentile, dacă apăsam lentila de sus în diferite feluri pentru a face ca inelele să se mişte cu uşurinţă dintr-un loc în altul, apărea imediat o pată mică albă în centrul lor, care la intrarea apei ambiante în acel loc îndată dispărea. Aspectul lor era acelaşi, prezentînd aceleaşi culori ca şi cînd le-ar fi cauzat aerul interpus. Dar nu era aer, căci ele nu dispăreau dacă se aflau cîteva bule de aer în apă. Reflexia trebuie să fi fost cauzată de un mediu mai subtil*, care putea să scape prin lentile la pătrunderea acolo a apei.

Observaţia 12. Aceste observaţii au fost făcute în aer liber. Pentru a examina însă mai departe efectele luminii colorate care cade pe lentile, am întunecat camera şi le-am privit în reflexia culorilor pe care o prismă le proiecta pe o foaie de hîrtie albă, ochiul meu fiind astfel încît putem vedea hîrtia colorată prin reflexia în lentile ca printr-o oglindă. Prin acest mijloc, inelele deveneau mai distincte şi mai vizibile într-un număr cu mult mai mare decît în aer liber. Uneori am văzut mai mult de douăzeci, în timp ce în aer liber nu putem deosebi mai mult de opt sau nouă.

Observaţia 13. Punînd un asistent să mişte prisma într-o parte şi în alta în jurul axei sale, astfel încît toate culorile să poată cădea succesiv pe partea hîrtiei pe care o vedeam prin reflexie de la lentilele din partea unde apăreau cercurile, astfel că toate culorile puteau fi reflectate succesiv de la cercuri în ochiul meu în timp ce îl ţineam nemişcat, am constatat că cercurile pe care le producea lumina roşie sînt în mod evident mai mari decît cele cauzate de albastru şi de violet. Era o adevărată plăcere să le văd dilatîndu-se sau contractîndu-se după cum se schimbau culorile luminii. Intervalul dintre sticle la unele inele cînd acestea erau produse de culoarea roşie închisă era către intervalul la acelaşi inel cînd era cauzat de extremul violet mai mare decît 3/2 şi mai mic decît 13/8. La cele mai multe observaţii ale mele era ca 14/9. Acest raport era aproximativ acelaşi la toate înclinaţiile ochiului, cu excepţia cazului cînd în loc de lentile-obiectiv foloseam două prisme. Atunci, la o anumită înclinaţie mare a ochiului, inelele formate de diversele culori păreau egale, iar la o înclinaţie mai mare cele produse de violet erau mai mari decît aceleaşi inele produse de roşu, refracţia prismei în acest caz făcînd ca razele cele mai refrangibile să cadă mai oblic pe lamela de aer decît cele mai puţin refrangibile. În acest fel, experienţa reuşea în

* Probabil materia subtilă a lui Descartes, sau eterul.

lumina colorată, care era suficient de intensă şi abundentă ca să facă inelele perceptibile. De aici se poate deduce că, dacă razele cele mai refrangibile şi cele mai puţin refrangibile ar fi fost de-ajuns de abundente ca să facă inelele perceptibile fără amestecul altor raze, raportul, care aici era de 14/9, ar fi fost ceva mai mare, să zicem $14\frac{1}{4}$ sau $14\frac{1}{3}$ la 9.

Observaţia 14. În timp ce prisma era învîrtită în jurul axei sale cu o mişcare uniformă pentru a face ca toate culorile diferite să cadă succesiv pe lentila obiectiv şi deci să producă o contractare şi dilatare a inelelor, contractarea şi dilatarea fiecărui inel produs astfel de variaţia culorii sale erau mai rapidă în roşu şi mai lentă în violet, iar în culorile intermediare avea grade intermediare de iuţeală. Comparînd contractarea şi dilatarea la toate gradele fiecărei culori, am găsit că ea este maximă în roşu, mai mică în galben, şi mai mică în albastru şi minimă în violet. Pentru a estima cît se poate de just rapoartele contracţiilor şi dilatărilor sale, am observat că întreaga contracţie şi dilatare a diametrului fiecărui inel, făcute în toate gradele roşului către diametrul aceluiaşi inel format la toate gradele violetului, erau cam de vreo patru la trei sau cinci la patru şi, dacă lumina era de o culoare mijlocie intermediară între galben şi verde, diametrul inelului era foarte apropiat de media aritmetică dintre diametrul maxim al aceluiaşi inel format de extremul roşu şi diametrul minim al său produs de extremul violet, contrar cu ceea ce se întîmpla la culorile din spectrul lunguieţ născut de refracţia unei prisme, unde roşul este mai contractat, violetul mai extins şi în mijlocul tuturor culorilor este limita dintre verde şi albastru. De aici pot conchide că grosimile aerului dintre lentile acolo unde inelul este format succesiv la limitele celor cinci culori principale (roşu, galben, verde, albastru şi violet) în ordine (adică la extremul roşu, la limita dintre roşu şi galben în mijlocul portocaliului, la limita dintre galben şi verde, la limita dintre verde şi albastru, la limita dintre albastru şi violet în mijlocul indigoului şi în extremul violet) sînt una foarte aproape de alta, la fel cum cele şase lungimi ale coardei care într-o sextă majoră dau notele sol, la, mi, fa, sol, la. Dar aceasta concordă mai bine cu observaţia dacă spunem că grosimile aerului dintre sticle acolo unde inelele sînt formate succesiv la limitele celor şapte culori în ordinea roşu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet sînt între ele precum rădăcinile cubice ale pătratelor celor opt lungimi ale unei coarde, care emite

tonurile unei octave: sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol, adică precum rădăcinile cubice ale pătratelor numerelor $1, \frac{8}{9}, \frac{5}{6}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{9}{16}, \frac{1}{2}$.

Observația 15. Aceste inele nu erau de culori variate, ca cele produse în aer liber, ci toate apăreau numai în culorile prismatice cu care erau luminate. Proiectînd culorile prismatice imediat pe

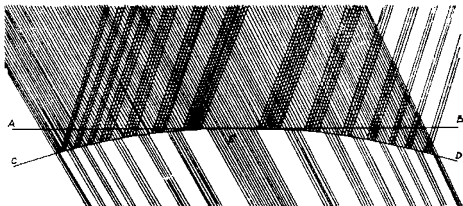


Fig. 4

lentile, am găsit că lumina care cădea în spațiile întunecoase ce se aflau între inelele colorate era transmisă prin lentile fără nici o modificare a culorii. Căci pe o hîrtie albă așezată în spate se formau inele de aceeași culoare cu cele reflectate și de aceleași dimensiuni. De aici originea acestor inele este evidentă: aerul dintre sticle, potrivit grosimii sale diferite, este dispus în anumite locuri să reflecte, iar în altele să transmită lumina oricărei culori (după cum puteți vedea reprezentat în figura 4) și în același loc să reflecte lumina unei culori pe cînd a alteia s-o transmită.

Observația 16. Pătratele diametrelor acestor inele formate de oricare culoare prismatică erau în progresie aritmetică, ca în observația a cincea. Iar diametrul cercului al șaselea, cînd era format de un galben ca lămîia și privit aproape perpendicular, era de aproximativ $\frac{58}{100}$ inch sau ceva mai mic, potrivit observației a șasea.

Observațiile precedente erau făcute cu un mediu mai rar, mărginit de unul mai dens, ca, de exemplu, aer sau apă, comprimat între

două sticle. În cele ce urmează sînt expuse aparențele într-un mediu mai dens înconjurat de unul mai rar, după cum sînt plăcile de mică, baloanele de săpun și alte substanțe subțiri, mărginite în toate părțile cu aer.

Observația 17. Suflăm un balon din apa făcută mai consistentă, dizolvînd în ea puțin săpun; este o observație știută că după cîtva timp ea va apărea colorată cu o mare varietate de culori. Ca să ferim aceste baloane de agitația aerului exterior (prin care culorile se mișcă neregulat între ele, așa că nu se poate face nici o observație precisă a lor), îndată ce am suflat vreunul dintre ele l-am acoperit cu o sticlă transparentă și prin acest mijloc culorile sale apăreau în ordine foarte regulată, la fel ca tot atîtea inele concentrice înconjurînd vîrful balonului. Iar cînd pelicula devenea mai subțire în urma prelingerii continue a apei în jos, inelele se dilatau încet și acopereau tot balonul, coborînd pe rînd la partea lui inferioară, unde dispăreau succesiv. Între timp, după ce toate culorile au apărut la vîrf, în centrul inelelor creștea o pată rotundă neagră, asemănătoare cu cea din observația întîi, care se dilata încontinuu, pînă ce uneori diametrul ei devenea de $\frac{1}{2}$ sau $\frac{3}{4}$ inch înainte ca balonul să se spargă. La început credeam că în acel loc lumina nu se reflecta de la apă, dar, observînd-o mai cu atenție, am văzut în ea mai multe pete mai mici rotunde, care apăreau cu mult mai negre și mai întunecoase decît celelalte, de unde am recunoscut că erau unele reflexii în alte locuri care nu erau atît de întunecoase ca petele. Prin alte experiențe am găsit că pot vedea imaginile unor obiecte (ca a unei lumînări sau a Soarelui) foarte slab reflectate nu numai de la pata mare neagră, ci și de la petele mici întunecoase care erau în ea. În afară de inelele colorate amintite mai sus, adeseori apăreau pete mici colorate, ridicîndu-se și coborîndu-se pe marginile balonului din cauza inegalității de scurgere a apei. Iar cîteodată pete mici negre se ridicau pe margini pînă la pata neagră mai mare de la vîrful bulei și se uneau cu ea.

Observația 18. Deoarece culorile acestor baloane erau mai extinse și mai vii decît ale păturii înguste de aer dintre două sticle și astfel mai ușor de distins, vă voi mai da aici o descriere a ordinei lor cum se observau dacă erau privite în reflexia culorii albe a cerului, în timp ce o substanță neagră era plasată în spatele balonului. Ele erau : roșu, albastru ; roșu, albastru ; roșu, albastru; roșu, verde ; roșu, galben, verde ;albastru, purpuriu ; roșu, galben, verde, albastru, violet ; roșu, galben, alb, albastru, negru.

Primele trei succesiuni de roşu şi albastru erau foarte slabe şi şterse, mai cu seamă întiia, în care roşul apărea ca un fel de alb. Printre acestea abia era vreo altă culoare sensibilă afară de roşu şi de albastru; singur albastrul (şi mai ales al doilea albastru) înclina puţin spre verde.

Roşul al patrulea de asemenea era diluat şi şters, dar nu aşa de mult ca primele trei; după el urma puţin galben sau de loc, apoi un verde bogat, care la început înclina puţin spre galben şi apoi devenea un verde de culoarea salciei viu şi clar, care apoi trecea într-o culoare albăstruie; acestora însă nu le succedau nici albastrul, nici violetul.

Roşul al cincelea la început înclina foarte mult spre purpuriu şi apoi devenea mai luminos şi mai viu nu însă foarte pur. Acestuia îi urma un galben foarte luminos şi intens, care era în cantitate mică şi trecea repede în verde; acest verde era abundent şi cîteodată mai pur, închis şi viu decît verdele precedent. După acesta urma un albastru excelent, de culoarea strălucitoare a cerului, apoi un purpuriu, care era în cantitate mai mică decît albastrul şi tindea mai mult spre roşu.

Roşul al şaselea la început era de un stacojiu foarte deschis şi viu, ca să treacă apoi într-o nuanţă mai luminoasă, devenind foarte curat şi strălucitor, cel mai frumos dintre toate culorile roşii. Apoi, după un portocaliu viu urma un galben foarte strălucitor şi abundent, care de asemenea era cel mai frumos dintre toate culorile galbene; acesta trecea mai întîi într-un galben-verzui şi apoi într-un albastru-verzui; dar verdele dintre galben şi albastru era foarte slab şi diluat, semănînd mai mult cu un alb-verzui decît cu un verde. Albastrul care urma devenea foarte frumos şi de o culoare a cerului foarte luminoasă, totuşi întru cîtva inferioară albastrului precedent, iar violetul era intens şi închis, neavînd în el roşu aproape de loc, mai puţin abundent decît albastrul.

În ultimul roşu apărea o coloraţie de stacojiu apropiat de violet, care repede trecea într-o culoare mai luminoasă, înclinînd spre un portocaliu; galbenul care urma era la început relativ frumos şi viu, însă mai tîrziu devenea mai diluat, pînă ce în mod gradat se termina într-un alb perfect. Acest alb, dacă apa era foarte vîscoasă şi potrivit amestecată, se împrăştia încet şi se întindea pe cea mai mare parte a bulei, devenind din ce în ce mai pal în partea de sus, şi, în fine, crăpa în mai multe locuri, iar acele crăpături, dilatîndu-se, apăreau de o culoare a cerului relativ frumoasă, dar totuşi obscură şi întunecoasă; albul dintre petele albastre, slăbind pînă ce semăna cu firele unei ţesături neregulate, curînd după aceea dispărea şi lăsa partea

de sus a bulei în culoarea albastru-închis menţionată. Această culoare, în felul amintit mai sus, se dilata pînă ce uneori se împrăştia peste întreaga bulă. Între timp în partea de sus, care era de un albastru mai întunecos decît partea de jos, apăreau de asemenea cîteva pete albastre rotunde, cîteodată mai întunecoase decît restul; apoi ieşeau la iveală una sau mai multe pete foarte negre, şi în interiorul lor alte pete şi mai negre, pe care le-am menţionat în observaţia precedentă; acestea se dilatau încontinuu pînă ce bula crăpa.

Dacă apa nu era destul de vîscoasă, petele negre deveneau albe fără să mai apară şi albastrul. Uneori ele dispăreau în interiorul galbenului precedent sau al roşului ori, probabil, în mijlocul albastrului de al doilea ordin, înainte ca culorile intermediare să aibă timp să se dezvolte.

Din această descriere vă puteţi da seama ce afinitate mare au aceste culori cu cele ale aerului descrise în observaţia a patra, deşi sînt expuse în ordine contrară, din cauză că ele încep să apară cînd bula este mai consistentă şi se numără mai convenabil de la partea cea mai de jos şi mai groasă a bulei, în sus.

Observaţia 19. Privind în diferite poziţii oblice ale ochiului inelele colorate ce ies din vîrful bulei, am găsit că ele se dilatau sensibil cu creşterea înclinaţiei, dar totuşi nici pe departe atît de mult ca cele formate de stratul de aer subţire din observaţia a şaptea. Într-adevăr, acolo ele se dilatau atît de mult, încît, dacă erau privite oblic, ajungeau la o parte a stratului care era mai mult de douăsprezece ori mai groasă decît aceea în care apăreau cînd erau privite perpendicular; în acest caz raportul dintre grosimea apei la care ajungeau cînd erau privite mai oblic şi grosimea care le prezenta în raze perpendiculare era puţin mai mic decît 8/5. După observaţiile mele cele mai bune raportul era între 15 şi $15\frac{1}{2}$ la 10, adică o creştere de vreo 24 de ori mai mică decît în primul caz.

Uneori bula devenea peste tot de o grosime uniformă, cu excepţia porţiunii din apropierea petei negre, ceea ce se recunoaşte din faptul că prezenta acelaşi aspect al culorilor în toate poziţiile ochiului. Atunci culorile ce se vedeau pe circumferinţa sa aparentă în razele cele mai oblice erau diferite de cele ce se vedeau în alte locuri, în raze mai puţin înclinate faţă de bulă. Diverşi observatori pot vedea aceeaşi parte a ei în diferite culori, privind-o sub înclinaţii foarte diferite. Acum, observînd cît de mult variază culorile în aceleaşi locuri ale bulei sau în locuri diferite de aceeaşi grosime, cu înclinaţiile diferite ale razelor, luînd în considerare observaţiile 4,14, 16 şi 18,

după cum se va explica mai tîrziu, am dedus că grosimea apei necesare să prezinte una şi aceeaşi culoare sub diverse înclinaţii, este aproximativ în proporţia expusă în tabela de mai jos.

Incidenţa razelor pe apă		Refracţia în apă		Grosimea apei
Grade	Min.	Grade	Min.	
00	00	00	00	10
15	00	11	11	$10\frac{1}{4}$
30	00	22	1	$10\frac{4}{5}$
45	00	32	2	$11\frac{4}{5}$
60	00	40	30	13
75	00	46	25	$14\frac{1}{2}$
90	00	48	35	$15\frac{1}{5}$

În primele două coloane sînt exprimate înclinaţiile razelor faţă de suprafaţa apei, adică unghiurile lor de incidenţă şi de refracţie. Eu presupun aici că sinusurile care le măsoară sînt în cifre rotunde ca 3/4, cu toate că, probabil, dizolvarea săpunului în apă poate să-i modifice puţin puterea de refracţie. În coloana a treia, grosimea balonului de săpun la care se produce o culoare oarecare la diverse înclinări se exprimă în părţi, din care zece constituie grosimea ei cînd razele sînt perpendiculare. Regula dedusă din observaţia a şaptea, dacă este corect aplicată, concordă bine cu aceste măsurători, anume că grosimea unei lamele de apă necesară să producă una şi aceeaşi culoare la diferite înclinări ale ochiului, este proporţională cu secanta unui unghi al cărui sinus este primul din 106 medii aritmetice proporţionale între sinusurile de incidenţă şi de refracţie numărate de la sinusul cel mai mic, adică începînd cu sinusul de refracţie cînd refracţia se face din aer în apă şi de la sinusul de incidenţă cînd refracţia se face din apă în aer.

Am observat alteori că culorile care apar pe oțelul lustruit cînd se încălzește pe metalul de clopot sau pe alte substanțe metalice cînd sînt topite și turnate pe pămînt unde ele se pot răci în aer liber, la fel ca culorile baloanelor de săpun, se schimbau cîte puțin cînd le priveam sub diverse înclinații și în particular că un albastru-închis sau violet, dacă era privit foarte oblic, se schimba într-un roșu-închis. Dar variațiile acestor culori nu sînt atît de mari și de sensibile ca cele ce au loc la apă. Zgura sau partea vitrificată a metalului, pe care cele mai multe metale cînd sînt încălzite sau topite o împing încontinuu afară și o scot la suprafață, acoperind metalele sub formă de peliculă subțire sticloasă, conduce la apariția acestor culori, este mult mai densă decît apa; am găsit că schimbarea culorii produsă de înclinarea ochiului este mai mică la păturile subțiri cu cît substanța este mai densă.

Observația 20. Aici, la fel ca la observația a noua, balonul de săpun apărea în lumina transmisă de o culoare contrară cu cea născută prin reflexie. Astfel, cînd bula, fiind privită în lumina norilor reflectată de ea, părea roșie la circumferința ei aparentă, dacă în același timp sau imediat după aceea norii erau priviți prin ea, culoarea de la circumferință devenea albastră. Dimpotrivă, dacă în lumina reflectată apărea albastră, în lumina transmisă ea apărea roșie.

Observația 21. Udînd plăci de mică foarte subțiri, care, fiind atît de subțiri, făceau să apară culori asemănătoare cu cele ale bulelor de apă, culorile deveneau mai slabe și mai mate, în special cînd umezeam plăcile pe partea opusă ochiului, dar nu am putut percepe nici o variație a aspectului lor. În acest fel, grosimea necesară unei plăci ca să producă o culoare oarecare depinde numai de densitatea plăcii și nu de cea a mediului ambiant. De aici, cu ajutorul observațiilor a 10-a și a 16-a, se poate cunoaște grosimea pe care o au la fiecare culoare produsă baloanele de săpun, plăcile de mică sau alte substanțe.

Observația 22. Un corp subțire transparent mai dens decît mediul ambiant prezintă culori mai luminoase și mai vii decît cel mai puțin dens, după cum am observat în particular la aer și la sticlă. Suflînd la flacăra unei lămpi plăci de sticlă foarte subțiri, acele plăci înconjurate de aer prezentau culori cu mult mai vii decît lamele subțiri de aer dintre două lentile.

Observația 23. Comparînd cantitatea de lumină reflectată de diferitele inele, am constatat că ea era mai mare la cel dintîi, adică la cel interior, iar la inelele exterioare devenea treptat din ce în ce mai mică. La fel și albul primului inel era mai intens decît cel reflectat de acele părți ale mediului sau ale lamelelor subțiri care erau în



Fig. 5

afara inelelor, după cum am putut să observ clar privind de la distanţă inelele produse de cele două lentile obiective, sau, comparînd două baloane de săpun suflate la anumite intervale de timp, la cea dintîi apărea albul în urma tuturor celorlalte culori, iar la a doua precedîndu-le pe toate celelalte.

Observaţia 24. Cînd cele două lentile obiectiv erau aşezate una peste cealaltă în aşa fel încît să facă să apară inelele colorate, deşi cu ochiul liber nu am putut deosebi mai mult de opt sau nouă astfel de inele, totuşi, privindu-le printr-o prismă, am văzut o mulţime cu mult mai mare, astfel că am putut număra peste patruzeci, afară de multe altele, care erau atît de mici şi de apropiate între ele, încît nu mi-am putut fixa constant ochiul asupra fiecăruia încît să le număr, dar, considerînd spaţiul pe care-l ocupau, am apreciat a fi mai multe de o sută. Cred însă că experienţa poate fi perfecţionată pentru a descoperi un număr cu mult mai mare. Într-adevăr, ele par a fi în număr nelimitat, deşi sînt vizibile numai atît cît pot fi separate prin refracţia prismei, după cum voi explica în cele ce urmează.

Dar numai o latură a acestor inele devenea distinctă prin refracţie, anume aceea spre care avea loc refracţia, în timp ce cealaltă latură devenea mai neclară cînd era privită cu ochiul liber, atît de mult încît nu am putut deosebi mai mult de unul sau două, iar uneori nici unul dintre inelele din care puteam deosebi cu ochiul liber opt sau nouă. Segmentele sau arcele lor, care de cealaltă latură apăreau atît de numeroase, în cea mai mare parte nu depăşeau o treime de cerc. Dacă refracţia era foarte mare sau prisma era foarte departe de lentilele-obiectiv, partea de mijloc a acestor arce de asemenea devenea confuză, astfel că dispărea şi forma un alb uniform, pe cînd la ambele laturi capetele lor şi arcele întregi mai depărtate de centru deveneau mai distincte decît înainte, apărînd în forma pe care o vedeţi desenată în figura 5.

Arcele, unde păreau mai distincte, erau numai succesiv albe şi negre, fără amestecul vreunei alte culori. În alte locuri însă apăreau culori, a căror ordine era inversată prin refracţie, în aşa fel că, dacă mai întîi ţineam prisma foarte aproape de lentilele-obiectiv şi apoi treptat le depărtam spre ochi, culorile inelului al 2-lea, al 3-lea, al 4-lea şi ale celor următoare se strîngeau spre albul care se ivea între ele pînă

ce dispăreau cu totul în el la mijlocul arcelor şi apoi iarăşi ieşeau în ordine contrară. Dar la capetele arcelor ele îşi păstrau ordinea neschimbată.

Uneori aşezam lentilele-obiectiv în aşa fel una peste alta, încît, privite cu ochiul liber, să apară pretutindeni la fel de albe, fără să se ivească vreun inel colorat; totuşi, privindu-le printr-o prismă, am descoperit o mare mulţime de inele. La fel plăcile de mică şi bulele de sticlă suflate la flacăra unei lămpi, care nu erau atît de subţiri încît să prezinte vreo culoare ochiului liber, privite printr-o prismă prezentau o mare varietate de culori, aranjate neregulat de sus în jos în formă de unde. De asemenea picăturile de apă, înainte de a începe să-şi manifeste culorile ochiului liber al unui observator, apăreau prin prismă înconjurate de unele inele paralele şi orizontale. Pentru a produce acest efect era necesar să se ţină prismele paralel sau aproape paralel cu orizontul şi să fie aranjate în aşa fel ca razele să se poată refracta în sus.

Cartea a doua
a
OPTICII

PARTEA II

Mențiuni asupra observațiilor precedente.

După ce am prezentat observațiile mele asupra culorilor produse în peliculele subțiri transparente înainte de a studia cauzele culorilor corpurilor naturale, este convenabil să le explic pe cele mai complicate cu ajutorul celor mai simple dintre ele, cum ar fi observațiile 2, 3, 4, 9, 12, 18, 20 și 24.

În primul rînd, pentru a arăta cum se produc culorile din observația a patra și a opta, să luăm pe o linie dreaptă din punctul Y (fig. 6) lungimile YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH, care se află între ele în aceeași proporție ca și rădăcinile cubice ale pătratelor numerelor $\frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \frac{8}{9}$, 1, care reprezintă lungimile pe care trebuie să le aibă o coardă muzicală pentru a emite toate tonurile unei octave, adică în proporția numerelor 6300, 6814, 7114, 7631, 8255, 8855, 9243, 10000. Din punctele A, B, C, D, E, F, G, H să ridicăm perpendicularele $A\alpha$ $B\beta$ etc., intervalele dintre ele reprezentînd domeniile diferitelor culori, notate dedesubt în dreptul lor. Să împărțim apoi linia A în proporția arătată de numerele 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11 etc., puse în dreptul punctelor de diviziune. Prin aceste diviziuni să ducem din Y liniile $1I$, $2K$, $3L$, $5M$, $6N$, $7O$ etc.

Dacă acum presupunem că $A2$ reprezintă grosimea unui corp oarecare subțire transparent, la care violetul extrem este reflectat mai mult în primul inel sau prima serie de culori, atunci, potrivit observației a 13-a, HK va reprezenta grosimea lui, la care roșul extrem este reflectat mai mult în aceeași serie. La fel, potrivit observației a 5-a și a 6-a, $A6$ și HN vor reprezenta grosimile la care aceste culori extreme sînt reflectate mai mult în seria a doua, iar $A10$ și HQ grosimea la care ele sînt reflectate mai abundent în seria a treia

şi aşa mai departe. Grosimea la care se reflectă mai mult vreuna dintre culorile intermediare va fi definită, potrivit observaţiei a 14-a,

Fig. 6

prin distanţa liniei *AH* faţă de părţile intermediare ale liniilor 2*K*, 6*N*, 10*Q* etc. sub care sînt scrise numele acelor culori.

10 — c 423

Dar, mai departe, pentru a defini lățimea acestor culori în fiecare inel al seriei, fie $A1$ grosimea cea maimică, iar $A3$ cea mai mare la care se reflectă violetul extrem în prima serie și fie HI și HL aceleași limite pentru roșul extrem, iar culorile intermediare fie limitate de părțile intermediare ale liniilor $1I$ și $3L$, în dreptul cărora sînt scrise numele acelor culori, și așa mai departe, dar întotdeauna reflexiile trebuie să fie presupuse mai intense în spațiile intermediare $2K$, $6N$, $10Q$ etc. și de acolo descresc treptat spre limitele $1I$, $3L$, $5M$, $7O$ etc. de ambele părți, unde nu trebuie să le considerăm că sînt precis limitate, ci că se micșorează nedefinit. Am atribuit aceeași lățime fiecărei serii, pentru că, deși aceste culori par a fi în prima serie puțin mai largi decît restul din cauză că acolo reflexia e mai intensă, totuși această inegalitate este atît de sensibilă, încît cu greu se poate determina prin observație.

Potrivit acestei descrieri, imaginîndu-ne că razele care la început sînt de mai multe culori se reflectă alternativ în spațiile $1I$, $L3$, $5M$, $O7$, $9P$, $R11$ etc. și se transmit în spațiile $AHI1$, $3LM5$, $7OP9$ etc., este ușor de văzut care culoare trebuie să apară în aer liber la fiecare grosime a unui corp transparent subțire. Într-adevăr, dacă așezăm o riglă paralel cu AH, în așa fel încît distanța riglei de AM să reprezinte grosimea corpului transparent, spațiile alternative $1IL3$, $5MO7$ etc. pe care le taie vor determina culorile reflectate la început, din care e compusă culoarea ce apare în aer liber. Astfel, dacă dorim să cunoaștem spațiul verdelui, care trebuie să apară în seria a 3-a de culori, așezăm rigla după cum se vede în $\pi\rho\sigma\varphi$ și din trecerea ei prin albastru în π și galben în σ, ca și prin verde în ρ, putem conchide că verdele care apare la acea grosime a corpului e constituit îndeosebi din verdele original, dar există și un amestec de puțin albastru și galben.

Prin acest mijloc veți putea cunoaște cum se succedă culorile de la centrul inelelor în afară în ordinea în care au fost descrise în observațiile a 4-a și a 18-a. Căci dacă mișcați rigla treptat de la AH prin toate distanțele, trecînd prin primul spațiu care indică o reflexie foarte mică sau nulă la substanțele cele mai subțiri, ea va ajunge mai întîi în 1 la violet, apoi foarte repede la albastru și verde, care împreună cu acest violet compun albastrul, și apoi la galben și roșu, prin adaosul cărora acest albastru se transformă în alb, care alb se continuă în timpul trecerii marginii riglei de la I la 3 și după aceea prin absența succesivă a uneia din culorile componente, să se schimbe la început într-un galben compus, apoi în roșu și pe urmă roșul dispare în L. Atunci încep culorile celui de-al 2-lea inel

care succedă pe rînd în timpul trecerii marginii riglei de la 5 la *O* şi sînt mai vii decît înainte, din cauză că sînt mai extinse şi mai separate. Din acelaşi motiv, în locul albului de mai înainte aici se interpune între albastru şi galben un amestec de portocaliu, galben, verde, albastru şi indigo, care toate împreună trebuie să dea un verde diluat şi imperfect. Astfel se succedă pe rînd toate culorile inelului al treilea; mai întîi violetul, care se amestecă puţin cu roşul de ordinul al doilea şi de aceea înclină spre un purpuriu-roşiatic, apoi albastrul şi verdele, care sînt mai puţin amestecate cu celelalte culori şi, în consecinţă, mai vii decît înainte, în special verdele, apoi urmează galbenul, din care partea dinspre verde este distinctă şi clară, dar partea lui dinspre roşul care urmează, şi la fel acel roşu, este amestecată cu violetul şi cu albastrul inelului al patrulea prin care se compun diverse grade de roşu ce înclină foarte mult spre purpuriu. Acestui violet şi albastru care trebuie să urmeze după roşu, fiind amestecate cu el şi contopite în el, le urmează un verde. La început acesta înclină mult spre albastru, însă în curînd devine un verde bun, singura culoare neamestecată şi vie în seria a patra. Căci îndată ce tinde spre galben începe să se amestece cu culorile inelului al cincilea, prin care amestec galbenul şi roşul ce urmează sînt foarte mult diluate şi impure, în special galbenul, care, fiind culoarea cea mai slabă, abia se poate observa. După aceasta diversele inele şi culorile lor se amestecă şi se confundă tot mai mult, pînă ce, după alte trei sau patru schimbări succesive (în care predomină pe rînd roşul şi albastrul), toate felurile de culori se găsesc peste tot la fel amestecate şi de diluate, compunînd un alb uniform.

Deoarece, potrivit observaţiei a 15-a, razele unei culori sînt transmise acolo unde cele de o altă culoare sînt reflectate este evidentă originea culorilor produse de lumina transmisă, descrisă în observaţiile a 9-a şi a 20-a.

Dacă nu dorim numai ordinea şi felul acestor culori, ci şi grosimea precisă a plăcii sau a corpului subţire la care se ivesc, exprimate în fracţiuni de inch, aceasta de asemenea se poate obţine cu ajutorul observaţiilor a 6-a şi a 16-a. Într-adevăr, potrivit acestor două observaţii, grosimea aerului păturii subţiri de aer care prezenta între cele două sticle părţile cele mai luminoase ale primelor şase inele era de 1/178000, 3/178000, 5/178000, 7/178000, 9/178000, 11/178000 inch. Să presupunem că lumina reflectată mai mult la aceste grosimi este galbenul de lămîie intens sau limita dintre galben şi portocaliu, şi această grosime va fi $F\lambda$, $F\mu$, $F\nu$, $F\xi$, $F\theta$, $F\tau$. Aceasta

fiind cunoscută, este uşor de determinat ce grosime a aerului este reprezentată prin $G\varphi$ sau prin orice altă distanţă a riglei de la AH.

Dar, mai departe, fiindcă, potrivit observaţiei a 10-a, grosimea păturii de aer era faţă de a celei de apă, care între aceleaşi sticle prezenta aceeaşi culoare, în raportul 4/3, iar potrivit observaţiei a 21-a culorile corpurilor subţiri nu variază cu variaţia mediului ambiant, grosimea unei picături de apă de o culoare oarecare va fi $\frac{3}{4}$ din grosimea aerului care produce aceeaşi culoare. De asemenea, potrivit observaţiilor a 10-a şi a 21-a, grosimea unei plăci de sticlă, a cărei refracţie a razei mijlocii se măsoară prin raportul sinusurilor 31/20, poate fi 20/31 din grosimea aerului care produce aceleaşi culori şi la fel despre celelalte medii. Eu nu afirm că acest raport de 20/31 este valabil pentru toate razele, deoarece sinusurile celorlalte feluri de raze au alte rapoarte. Diferenţele acelor rapoarte sînt însă aşa de mici, încît aici nu le iau în considerare. Pe aceste baze am compus tabela următoare, în care grosimea aerului, apei şi sticlei la care fiecare culoare este mai intensă şi specifică este exprimată în fracţiuni de inch divizat într-un milion de părţi egale.

Grosimea plăcilor colorate şi a particulelor de

		aer	apă	sticlă
Culorile lor de ordinul întîi	negru complet	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	negru	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	început de negru	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	albastru	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$
	alb	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$
	galben	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	portocaliu	8	6	$5\frac{1}{6}$
	roşu	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$

		aer	apă	sticlă
De ordinul al doilea	violet	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$
	indigo	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$
	albastru	14	$10\frac{1}{2}$	9
	verde	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{2}{3}$	$9\frac{5}{7}$
	galben	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$
	portocaliu	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	roşu strălucitor	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$
	stacojiu	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$
De ordinul al treilea	purpuriu	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$
	indigo	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$
	albastru	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$
	verde	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$
	galben	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$
	roşu	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$
	roşu-albăstrui	32	24	$20\frac{2}{3}$

		aer	apă	sticlă
De ordinul al patrulea	verde-albăstrui	34	$25\frac{1}{2}$	22
	verde	$25\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$
	verde-gălbui	36	27	$23\frac{2}{9}$
	roșu	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26
De ordinul al cincilea	albastru-verzui	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$
	roșu	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34
De ordinul al șaselea	albastru-verzui	$58\frac{3}{4}$	44	38
	roșu	65	$48\frac{3}{4}$	42
De ordinul al șaptelea	albastru-verzui	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$
	alb roșiatic	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$

Dacă comparați această tabelă cu figura 6, veți vedea constituția fiecărei culori, ca și ingredientele lor, sau culorile originare din care e compusă, și de acolo veți putea să judecați asupra intensității sau imperfecțiunii ei, ceea ce poate fi suficient pentru explicarea observațiilor a 4-a și a 18-a, dacă nu dorim să aflăm și felul în care apar culorile cînd așezăm cele două lentile obiective una peste cealaltă. Pentru a face aceasta, să descriem un arc mare de cerc și o linie dreaptă care să atingă acel arc, iar paralel cu tangenta mai multe linii punctate, la astfel de distanțe de ea, cum arată numerele în dreptul diverselor culori din tabelă. Într-adevăr, arcul și tangenta lui vor reprezenta suprafețele sticlelor care delimitează

aerul interpus, iar locurile în care liniile punctate taie arcul vor indica la ce distanţă de centru sau de punctul de contact este reflectată fiecare culoare.

Mai sînt şi alte întrebuinţări ale acestei tabele, căci cu ajutorul ei în observaţia a 19-a s-a determinat grosimea balonului de săpun din culorile pe care le prezintă. La fel se poate aprecia din culorile corpurilor naturale care este grosimea particulelor lor, după cum se va arăta în cele ce urmează. De asemenea, dacă punem una peste alta două sau mai multe plăci foarte subţiri astfel ca să constituie o singură placă de grosime egală cu toate împreună, atunci cu ajutorul acestei tabele se poate determina culoarea rezultantă. *D. Hooke* a observat, după cum a menţionat în *Micrografia* sa, că o placă de mică de culoare galben-pal aşezată peste una albastră dădea un purpuriu foarte închis. Galbenul de ordinul întîi este slab, iar grosimea plăcii care îl reprezintă, potrivit tabelei, este de $4\frac{3}{5}$, la care se adaugă 9, grosimea care reprezintă albastrul de ordinul al doilea, şi suma va fi $13\frac{3}{5}$ care este grosimea ce reprezintă purpuriul de ordinul al treilea.

Pentru a explica în acelaşi timp împrejurările observaţiilor a 2-a şi a 3-a, adică în ce fel se pot schimba culorile (prin învîrtirea prismelor în jurul axei lor comune în sens contrar celui spus în acele observaţii) în inele albe şi negre şi apoi iarăşi în inele colorate, culorile fiecărui inel fiind acum aşezate în ordine inversă, trebuie să ne reamintim că inelele colorate sînt dilatate din cauza înclinaţiei razelor faţă de aerul interpus între sticle şi că, potrivit tabelului din observaţia a 7-a, dilataţia sau creşterea diametrului lor este mai evidentă şi mai rapidă cînd ele sînt mai oblice. Acum, razele galbene fiind mai refractate la prima suprafaţă a aerului amintit decît cele roşii, se înclină şi mai mult la suprafaţa a doua, la care se reflectă ca să producă inelele colorate, şi, în consecinţă, cercul galben din fiecare inel va fi mai dilatat decît cel roşu; dilatarea sa va fi cu atît mai mare, cu cît e mai mare înclinaţia razelor, pînă ce, în fine, ea devine egală în întindere cu roşul aceluiaşi inel. Din acelaşi motiv, verdele, albastrul şi violetul vor fi şi ele atît de mult dilatate în urma înclinaţiei şi mai mari a razelor lor, încît şi acestea devin foarte aproape de aceeaşi întindere ca şi roşul, adică egal depărtate de centrul inelelor. Atunci toate culorile aceluiaşi inel trebuie să se suprapună şi prin amestecul lor să dea un inel alb. Aceste inele albe trebuie să cuprindă între ele inele negre şi albe, fiindcă ele nu se împrăştie şi nu interferă unul

cu altul ca mai înainte. Din acest motiv, ele trebuie să devină mai distincte şi mai vizibile în număr mai mare. Totuşi, violetul fiind mai întunecat, va fi mai dilatat în raport cu întinderea sa decît celelalte culori şi astfel foarte probabil să apară la marginile exterioare ale albului.

După aceea, la o înclinare mai mare a razelor, violetul şi albastrul devin simţitor mai dilatate decît roşul şi galbenul, şi astfel, fiind mai depărtate de centrul inelelor, culorile trebuie să apară din alb în ordine inversă celei de mai înainte: violetul şi albastrul la marginea exterioară a fiecărui inel, iar roşul şi galbenul la cea interioară. Violetul, din cauza înclinării mai mari a razelor sale, fiind în raport cu celelalte cel mai extins, va apărea primul la marginea exterioară a fiecărui inel alb şi va deveni mai evident decît restul. Iar diversele serii de culori aparţinînd diferitelor inele vor începe, din cauza desfăşurării şi împrăştierii, să interfereze din nou şi deci să facă inelele mai puţin distincte şi vizibile în număr mai mic.

Dacă în loc de prismă folosim lentile-obiectiv, inelele pe care le prezintă nu devin albe şi distincte la înclinarea ochiului, deoarece razele în trecerea lor prin aerul ce se găseşte între lentile sînt aproape paralele cu liniile după care cădeau mai întîi pe lentile şi, în consecinţă, diferitele culori nu sînt înclinate una mai mult decît alta faţă de acel aer, aşa cum se petrece în prismă.

Mai există încă un fapt în aceste experienţe care trebuie luat în considerare, şi anume de ce inelele negre şi albe care, privite de la distanţă, apar distincte nu devin numai neclare cînd le privim din apropiere, ci prezintă şi o culoare violetă la ambele margini ale fiecărui inel alb. Cauza este că razele care intră în ochi în diferitele părţi ale pupilei au diferite înclinaţii faţă de lentile; cele care sînt mai oblice, dacă sînt considerate separat, vor înfăţişa inelele mai mari decît cele mai puţin oblice. De aceea lăţimea perimetrului fiecărui inel se extinde în afară pentru razele mai oblice şi în interior pentru cele mai puţin oblice. Această întindere este cu atît mai mare, cu cît e mai mare diferenţa înclinaţiei, adică cu cît e mai largă pupila sau cu cît ochiul e mai aproape de lentilă. Lăţimea violetului trebuie să fie extinsă, fiindcă razele capabile să excite senzaţia acelei culori sînt mai oblice faţă de o a doua suprafaţă sau cele următoare ale păturii înguste de aer la care se reflectă şi de asemenea posedă cea mai mare variaţie a înclinării, ceea ce face ca aceste culori să apară mai vizibil la marginile albului. Pe măsură ce lăţimea fiecărui inel creşte în acest fel, intervalele negre trebuie să se micşoreze pînă ce inelele vecine devin continue şi se amestecă, mai întîi cele

exterioare şi apoi cele mai apropiate de centru, astfel încît nu se pot distinge separat, ci par a constitui un alb egal şi uniform.

Din toate aceste observaţii, nici una nu este însoţită de atîtea circumstanţe ciudate ca a 24-a. Dintre ele cea mai importantă este că în plăcile subţiri care apar ochiului liber ca un alb transparent regulat şi uniform, fără nici o terminaţie de umbră, refracţia prin prismă face să apară inele colorate, pe cînd de obicei ea face obiectele să apară colorate numai acolo unde se termină cu umbră sau posedă părţi inegal luminate, şi ea face inelele extrem de distincte şi albe, deşi de obicei arată obiectele confuze şi colorate. Veţi înţelege cauza acestor lucruri considerînd că toate inelele colorate există realmente în placă cînd le privim cu ochiul liber, cu toate că, din cauza marii lăţimi a circumferinţelor lor, ele trebuie să interfereze atît de mult şi să se amestece, încît par să constituie un alb uniform. Cînd însă razele trec prin prismă la ochi, cercurile diverselor culori din fiecare inel se refractă, unele mai mult decît altele, potrivit gradelor lor de refrangibilitate. Prin aceste mijloace, culorile uneia dintre marginile inelului (adică în cerc într-o anumită parte faţă de centrul său) devin mai dezvoltate şi mai dilatate, iar cele de la cealaltă margine mai complicate şi mai contractate. Acolo unde, datorită unei refracţii potrivite, sînt atît de contractate încît diversele inele devin prea înguste ca să mai poată interfera unul cu celălalt, ele trebuie să apară distincte şi albe dacă culorile componente sînt atît de contractate încît coincid cu totul. Dar de cealaltă parte, unde cercul fiecărui inel devine mai lat în urma dezvoltării în continuare a culorilor sale, inelul trebuie să interfereze mai mult cu celelalte inele decît anterior şi astfel devine mai puţin distinct.

Pentru a explica aceasta mai bine să presupunem că cercurile concentrice AV şi BX (fig. 7) reprezintă roşul şi violetul de un ordin oarecare şi, împreună cu culorile intermediare, constituie unul dintre aceste inele. Privindu-le acum printr-o prismă, cercul

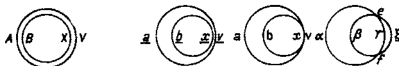


Fig. 7

violet BX în urma unei refracţii mai mari se va deplasa din locul său mai mult decît cercul roşu AV şi astfel se va apropia de el ultimul cerc de acea parte a cercurilor spre care se produce refracţia.

De exemplu, dacă roşul se deplasează spre *av*, violetul se poate deplasa spre *bx*, astfel încît *x* se apropie mai mult de roşu decît anterior, iar dacă roşul se deplasează mai departe spre av, violetul se poate deplasa atît de mult spre bx încît să coincidă în x; dacă roşul se deplasează mai mult spre αϒ, violetul se va deplasa şi el atît de mult spre βξ încît va trece dincolo de roşu în ξ şi se întretaie cu el în *e* şi *f*. Înţelegînd aceasta nu numai despre roşu şi violet, ci şi despre toate celelalte culori intermediare şi la fel despre orice schimbare a acelor culori, vă veţi da uşor seama în ce chip culorile aceleiaşi serii, prin apropierea lor una de alta *xv* şi ϒξ, şi coincidenţa lor în xv, *e* şi *f* trebuie să formeze arce de cerc distincte, în special în *xv*, iar în xv să prezinte un alb prin suprapunerea lor, şi iarăşi să apară separate în ϒξ, dar în ordine contrară celei de mai înainte şi pe care o reţin dincolo de *e* şi *f*. Dar de cealaltă parte în *ab*, ab sau αβ, aceste culori trebuie să apară cu mult mai neclar, fiind dilatate şi împrăştiate astfel ca să se interfereze cu culorile altor inele. Aceeaşi amestecare a culorilor va avea loc în ϒξ între *e* şi *f* dacă refracţia este foarte mare sau prisma e foarte departe de lentila-obiectiv. În acest caz nu se vede nici o parte a inelelor, cu excepţia numai a două arce mici la *e* şi *f*, a căror distanţă unul de celălalt va creşte, deplasînd prisma şi mai departe de lentila-obiectiv. Aceste arce mici trebuie să fie mai distincte şi mai albe în mijlocul lor, iar la capete, unde încep să devină confuze, ele trebuie să fie colorate. Culorile de la un capăt al fiecărui arc trebuie să fie în ordine inversă celor de la celălalt capăt, din cauza că se încrucişează în albul intermediar, anume capătul lor care tinde spre ϒξ va fi roşu şi galben de partea apropiată de centru, iar de cealaltă parte albastru şi violet. Celelalte capete ale lor care sînt aproape de ϒξ vor fi, dimpotrivă, albastre şi violete de partea dinspre centru, iar roşii şi galbene de cealaltă parte.

După cum toate aceste lucruri rezultă din proprietăţile luminii printr-un raţionament matematic, tot astfel adevărul lor se poate demonstra prin experienţe. Într-adevăr, privind într-o cameră întunecată aceste inele printr-o prismă în reflexia diferitelor culori, pe care un asistent le face să se mişte în sus şi în jos pe un perete sau pe o hîrtie de la care sînt reflectate, în timp ce ochiul spectatorului, prisma şi lentilele obiective rămîn nemişcate (ca în observaţia a 13-a), poziţiile cercurilor produse succesiv de diversele culori vor fi în raport unul faţă de altul aşa după cum am descris în figurile *abxv* sau abxv sau

$\alpha\beta\xi\Upsilon$. Prin aceeaşi metodă se poate examina adevărul explicaţiilor celorlalte observaţii.

Din cele spuse pot fi înţelese fenomenele asemănătoare la apă şi la plăcile subţiri de sticlă. Dar la bucăţile mici ale acelor plăci se mai poate observa că, dacă ele sînt aşezate orizontal pe o masă şi se rotesc în jurul centrului lor în timp ce sînt privite printr-o prismă în anumite poziţii ele vor prezenta unde de diferite culori, unele dintre ele vor prezenta aceste unde numai într-o poziţie sau două, însă cele mai multe le vor prezenta în toate poziţiile şi ele vor apărea în cea mai mare parte aproape pe întreaga placă. Cauza este că suprafeţele acestor plăci nu sînt netede, ci posedă unele adîncituri şi umflături care, oricît ar fi de mici, fac să varieze puţin grosimea plăcii. Într-adevăr, la diversele margini ale acelor adîncituri, din cauzele descrise mai sus, ele vor produce unde în diferitele poziţii ale prismei. Deşi este posibil ca numai unele porţiuni foarte mici şi înguste de sticlă să producă în cea mai mare parte aceste unde, totuşi ele par a se extinde pe întreaga sticlă, fiindcă există culori de diferite ordine, adică ale diferitelor inele, reflectate confuz de către cele mai înguste din aceste părţi, care prin refracţia în prismă sînt desfăşurate separate şi dispersate în diverse părţi după gradul lor de refracţie, astfel încît constituie tot atîtea unde diferite cîte ordine diverse de culori erau reflectate amestecat de acea parte a sticlei.

Acestea sînt fenomenele principale ale plăcilor subţiri sau ale baloanelor de săpun ale căror explicaţii depind de proprietăţile luminii pe care le-am expus mai sus. Aceste fenomene, după cum vedeţi, rezultă în mod necesar din proprietăţile luminii şi sînt în acord cu ele, pînă în cele mai mici detalii, şi nu numai atît, dar şi contribuie foarte mult la verificarea lor. Astfel din observaţia a 24-a apare că razele diferitelor culori produse atît de plăcile subţiri sau de bule, cît şi de refracţia printr-o prismă au diferite grade de refrangibilitate, din care cauză acele raze ale fiecărui ordin care la reflexia pe placă sau bulă se amestecă cu cele ale altui ordin, se separă de acestea prin refracţie şi se asociază în aşa fel că devin vizibile ca nişte arcuri de cerc. Căci, dacă razele ar fi toate la fel de refrangibile, ar fi imposibil ca albul, care, privit cu ochiul liber, apare uniform, să-şi deplaseze prin refracţie părţile şi să le aranjeze în formă de arce negre şi albe.

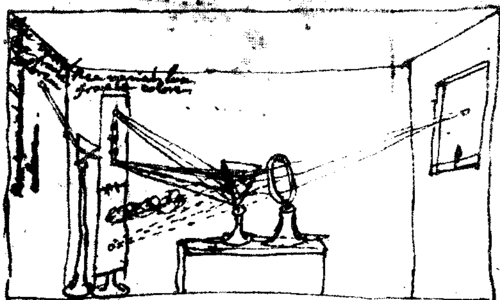
De asemenea este evident că refracţiile inegale ale razelor deformate nu provin din anumite neregularităţi accidentale, cum sînt

vinele, şlefuirea neregulată sau poziţiile fortuite ale porilor sticlei, mişcările inegale sau întîmplătoare ale aerului sau eterului, împrăştierea, refracţia sau diviziunea aceleiaşi raze în mai multe părţi divergente sau altele asemănătoare. Într-adevăr, dacă am admite anumite neregularităţi de acest fel, totuşi ar fi imposibil ca refracţiile să facă ca acele inele să apară atît de distinct şi bine definite ca în observaţia a 24-a. Prin urmare, este necesar ca fiecare rază să aibă propriul şi constantul ei grad natural de refrangibilitate, potrivit căruia refracţia ei se face exact şi regulat şi diferitele raze au grade de refracţie diferite.

Ceea ce s-a spus despre refrangibilitatea razelor se poate înţelege şi despre reflexibilitate, adică despre proprietatea lor de a fi reflectate, unele la o grosime mai mare, altele la una mai mică a plăcilor subţiri şi a bulelor, anume că acestea sînt de asemenea proprietăţi naturale ale razelor şi sînt imuabile, după cum se poate vedea din observaţiile a 13-a, a 14-a şi a 15-a comparate cu a 4-a şi a 18-a.

Din observaţiile precedente mai urmează că albul este un amestec neomogen al tuturor culorilor şi că lumina e un amestec de raze avînd toate acele culori. Într-adevăr, considerînd mulţimea inelelor colorate în observaţiile a 3-a, a 12-a şi a 24-a, este evident că, deşi în observaţiile a 4-a şi a 18-a nu apar mai mult de opt sau de nouă astfel de inele, totuşi în realitate sînt în număr cu mult mai mare, care interferă şi se amestecă atît de mult între ele, încît, după acele opt sau nouă schimbări, se diluează reciproc complet şi formează un alb regulat şi uniform. În consecinţă, trebuie să admitem că albul este un amestec de toate culorile şi că lumina care îl transmite ochiului trebuie să fie un amestec de raze care au toate acele culori.

Dar, mai departe, din observaţia a 24-a rezultă că există o relaţie constantă între culori şi refrangibilitate, razele cele mai refrangibile fiind violete, cele mai puţin refrangibile roşii, iar cele de culori intermediare avînd, respectiv, grade intermediare de refrangibilitate. Din observaţiile a 13-a, a 14-a şi a 15-a apare că există aceeaşi relaţie constantă între culoare şi reflexibilitate, violetul fiind în aceleaşi condiţii reflectat la grosimile cele mai mici ale oricărei plăci sau bule, roşul la grosimile cele mai mari, iar culorile intermediare la grosimile intermediare. De aici rezultă că proprietăţile de culoare ale razelor sînt de asemenea naturale şi neschimbătoare şi, în conse-



Planşa V. Schiţa făcută de Newton a unei experienţe asupra luminii şi culorilor.

cinţă, toate producerile şi apariţiile de culori provin nu din vreo modificare fizică cauzată în lumină de către refracţie sau reflexie, ci numai din amestecurile sau din separările variate ale razelor în virtutea diferitelor lor refrangibilităţi şi reflexibilităţi. În această privinţă, ştiinţa culorilor devine o speculaţie tot atît de matematică ca orice altă parte a opticii. Înţeleg aceasta în măsura în care ele depind de natura luminii şi nu sînt produse sau alterate de puterea imaginaţiei ori de lovirea sau apăsarea ochiului.

Cartea a doua
a
O P T I C I I

PARTEA III

Culorile permanente ale corpurilor naturale și analogia dintre ele; culorile plăcilor subțiri transparente.

Am ajuns acum la o altă parte a acestei lucrări, care constă în a cerceta în ce relație sînt fenomenele plăcilor subțiri transparente față de ale celorlalte corpuri naturale.

După cum am spus, corpurile naturale apar în diverse culori, după capacitatea lor de a reflecta mai mult acele raze care inițial au culorile respective. Rămîne însă să se descopere constituția lor prin care ele reflectă anumite raze mai mult decît altele; acest lucru voi încerca să-l prezint în propozițiile următoare.

PROPOZIȚIA I

Suprafețele corpurilor transparente care reflectă cea mai mare cantitate de lumină au cea mai mare putere refractatoare; acestea sînt suprafețele care se găsesc între medii ce diferă cel mai mult în densitățile lor refractatoare. La marginile mediilor de refracție egală nu există reflexie.

Analogia dintre reflexie și refracție apare clar atunci cînd considerăm faptul că lumina care trece oblic dintr-un mediu în altul care o refractă față de perpendiculară, cu cît va fi mai mare diferența dintre densitatea lor refractatoare, cu atît va avea nevoie de o înclinare mai mică de incidență pentru a cauza o reflexie totală. Într-adevăr, așa cum se raportează sinusurile care măsoară refracția, la fel se raportează sinusul de incidență la care începe reflexia totală către

raza cercului şi, în consecinţă, unghiul de incidenţă cel mai mic este acela pentru care diferenţa sinusurilor este maximă. Astfel, la trecerea luminii din apă în aer, pentru care refracţia se caracterizează prin raportul $\frac{3}{4}$ al sinusurilor, reflexia totală începe atunci cînd unghiul de incidenţă este aproximativ 48 grade şi 35 minute. La trecerea din sticlă în aer, unde refracţia se caracterizează prin raportul $\frac{20}{31}$ al sinusurilor, reflexia totală începe la un unghi de incidenţă de 40 grade şi 10 minute, iar la trecerea din cristal sau din medii mai puternic refractatoare în aer se cere o înclinare mai mică pentru a obţine o reflexie totală. Prin urmare, suprafeţele care refractă mai mult trebuie să reflecte cel mai repede lumina ce cade pe ele şi de aceea trebuie considerate ca mai intens reflectatoare.

Adevărul acestei propoziţii va apărea mai departe observînd că la suprafeţele care despart două medii transparente (ca aerul, apa, uleiul, sticla ordinară, cristalul, sticlele metalice, sticlele de Islanda, arsenicul alb transparent, diamantul etc.) reflexia este mai intensă sau mai slabă după cum suprafeţele au o putere de refracţie mai mare sau mai mică. Căci la hotarul dintre aer şi sarea gemă refracţia este mai intensă decît la hotarul dintre aer şi apă, este şi mai intensă la suprafaţa de separaţie dintre aer şi sticla obişnuită sau cristal şi încă mai intensă la suprafaţa despărţitoare dintre aer şi diamant. Dacă vreunul dintre aceste solide transparente sau altele asemănătoare se cufundă în apă, reflexia lor devine cu mult mai slabă decît înainte şi încă şi mai slabă dacă sînt cufundate în lichide mai refractatoare, cum ar fi uleiul de vitriol bine rafinat sau spirtul de terebentină. Dacă separăm apa în două părţi printr-o suprafaţă imaginară, reflexia la limita dintre aceste două părţi e absolut nulă. La hotarul dintre apă şi gheaţă ea este foarte mică, la cel dintre apă şi ulei este ceva mai mare, la cel dintre apă şi sarea gemă este şi mai mare, iar la cel dintre apă şi sticlă sau cristal ori alte substanţe mai dense este încă şi mai mare, după cum acele medii diferă mai mult sau mai puţin în ceea ce priveşte puterile lor de refracţie. De aceea la suprafaţa comună dintre sticlă şi cristal trebuie să existe o reflexie slabă, însă o reflexie mai intensă la hotarul dintre sticla obişnuită şi sticlele care conţin metal, cu toate că nu am verificat lucrul acesta. La hotarul dintre două sticle de densitate egală însă nu există nici o reflexie sensibilă, după cum s-a văzut în prima observaţie. Acelaşi lucru se referă şi la suprafeţele care despart douăcristale sau două lichide sau orice alte substanţe

în care nu se întîmplă nici o refracție. Astfel cauza pentru care mediile uniform transparente (ca apa, sticla sau cristalul) nu au reflexie sensibilă decît la suprafețele lor externe, unde sînt în contact cu alte medii de densitate diferită, este că toate părțile lor alăturate posedă unul și același grad de densitate.

PROPOZIȚIA II

Părțile cele mai mici ale aproape tuturor corpurilor naturale sînt într-o anumită măsură transparente, capacitatea acelor corpuri provenind din mulțimea reflexiilor care au loc în părțile lor interne.

Au observat și alții că este așa și de asemenea sînt de acord și cei care lucrează cu microscopul. Aceasta se poate verifica așezînd o substanță în fața unui orificiu prin care pătrunde lumina într-o cameră întunecată. Într-adevăr, oricît de opacă poate apărea acea substanță în aer liber, prin acest mijloc apare în mod evident transparentă dacă e destul de subțire. Trebuie exceptate numai corpurile albe metalice, care din cauza densității lor excesive par să reflecte toată lumina incidentă pe prima lor suprafață, însă prin dizolvarea lor în dizolvanți ele se reduc la particule foarte mici și atunci devin transparente.

PROPOZIȚIA III

Între părțile corpurilor opace și colorate există numeroase spații, fie goale, fie umplute cu medii de alte densități, cum ar fi apa între corpusculi coloranți cu care e impregnat orice lichid sau aerul între globulele de apă care constituie norii sau ceața, și în cea mai mare parte spații golite atît de aer, cît și de apă între părțile corpurilor dure, dar totuși probabil nu complet golite de orice substanță.

Adevărul acestora e dovedit de cele două propoziții precedente; căci, potrivit propoziției a 2-a, există numeroase reflexii care au loc în părțile interioare ale corpurilor și care, potrivit primei propoziții, nu s-ar întîmpla dacă părțile acelor corpuri ar fi continue fără nici un interstițiu între ele, fiindcă reflexia se face numai la suprafețele care separă medii de densitate diferită, conform propoziției I.

Dar, mai departe, că această discontinuitate a părților este cauza principală a opacității corpurilor va apărea dacă considerăm că substanțele opace devin transparente, umplînd porii lor cu vreo substanță de densitate egală sau aproape egală cu a părților sale.

Astfel hîrtia înmuiată în apă sau ulei, piatra *oculus mundi** cufundată în apă, stofa de lînă cu ulei sau lăcuită şi multe alte substanţe muiate în lichide, care pătrund intim în micii lor pori, devin prin aceasta mai transparente decît înainte; dimpotrivă, substanţele cele mai transparente, prin evacuarea lichidului din pori sau prin separarea părţilor lor, pot fi făcute destul de opace, ca de exemplu, sărurile şi hîrtia umedă sau piatra *oculus mundi* prin uscare, cornul prin răzuire, sticla pulverizată sau deteriorată înalt chip, terebentina prin agitare cu apă pînă ce se amestecă imperfect şi apa prin reducere la numeroase picături foarte mici, fie singură în formă de spumă, fie scuturînd-o cu ulei de terebentină sau cu ulei de măsline ori cu vreun alt lichid potrivit cu care nu se poate amesteca perfect. La creşterea opacităţii acestor corpuri contribuie uneori faptul că, potrivit observaţiei a 23-a, reflexiile substanţelor foarte subţiri transparente sînt considerabil mai intense decît cele produse de aceleaşi substanţe la o grosime mai mare.

PROPOZIŢIA IV

Părţile corpurilor şi interstiţiile lor nu trebuie să fie mai mici decît o anumită mărime bine definită pentru a le face opace şi colorate.

Într-adevăr dacă corpurile cele mai opace sînt divizate pînă la extrem (cum sînt metalele dizolvate în dizolvanţi acizi etc.) ele devin perfect transparente. La fel vă puteţi reaminti că în observaţia a 8-anu era nici o reflexie sensibilă la suprafeţele lentilelor-obiectiv cînd acestea erau foarte apropiate una de cealaltă, deşi ele nu se atingeau. Iar în observaţia a 17-a reflexia bulei de apă, cînd devenea foarte subţire, era aproape inobservabilă, astfel încît făcea să apară pete foarte negre la vîrful bulei în lipsa luminii reflectate.

Bazîndu-mă pe acest lucru, îmi dau seama că apa, sarea, sticla, pietrele şi alte substanţe asemănătoare sînt transparente. Căci după diverse consideraţii se pare că ele sînt la fel de pline de pori sau de interstiţii între părţile lor ca şi alte corpuri, totuşi părţile şi interstiţiile lor sînt prea mici pentru a cauza reflexii la suprafeţele lor comune.

---

* *Hidrofan* — o varietate de opal (SiO_2).

PROPOZIŢIA V

Părţile transparente ale corpurilor, potrivit mărimilor lor diferite, reflectă razele de o culoare şi le transmit pe cele de altă culoare din acelaşi motiv pentru care plăcile subţiri sau bulele reflectă sau transmit aceste raze. Aceasta o consider eu că este cauza tuturor culorilor lor.

Într-adevăr, dacă o placă subţire a unui corp are aceeaşi grosime peste tot, apare peste tot de culoare uniformă; dacă este despicată în fire sau sfărîmată în bucăţi de aceeaşi grosime cu placa, nu văd nici un motiv pentru care fiecare fir sau bucăţică nu şi-ar menţine culoarea şi, în consecinţă, pentru ce o îngrămădire de acele fire şi bucăţele nu ar constitui o masă sau pulbere de aceeaşi culoare pe care o prezintă placa înainte de a fi fost fărîmiţată. Iar părticelele tuturor corpurilor naturale fiind tot atîtea fragmente ale unei plăci, trebuie din acelaşi motiv să prezinte aceleaşi culori.

Că este într-adevăr aşa apare din asemănarea între proprietăţile (optice) ale corpurilor colorate şi păturilor subţiri. Culorile splendide ale penelor unor păsări, şi în special ale cozii de păun, par de diferite culori pe aceeaşi parte a penei pentru diverse poziţii ale ochiului, exact în acelaşi fel în care s-a arătat la plăcile subţiri în observaţiile a 7-a şi a 19-a, şi deci culorile lor apar din cauza grosimii foarte mici a părţilor transparente ale penelor, adică de la fineţea firelor foarte subţiri sau *capillamenta**, care cresc din ramurile laterale mai groase ale acelor pene. Aceeaşi este cauza pentru care pînzele foarte subţiri ale unor păianjeni apar colorate, după cum au observat unii, şi pentru care firele unor mătăsuri, la variaţia poziţiei ochiului, îşi variază culoarea. La fel culoarea mătăsii, stofelor şi altor substanţe care pot fi îmbibate cu apă şi ulei, dacă sînt muiate în aceste lichide, devine mai slabă şi mai întunecoasă şi îşi recapătă din nou vioiciunea dacă se usucă; explicaţia este aceeaşi ca şi cea dată pentru corpurile subţiri în observaţia a 10-a şi a 21-a. Foile de aur, anumite feluri de sticlă, tinctura de *lignum nephriticum* şi alte substanţe reflectă o culoare şi transmit alta, în acelaşi fel ca şi corpurile subţiri din observaţiile a 9-a şi a 20-a. Unele prafuri colorate pe care le folosesc pictorii pot să-şi schimbe puţin culoarea dacă sînt măcinate mult şi foarte fin. De aceea nu văd cum s-ar putea explica corect acele schimbări, în afară de fărîmiţarea părţilor lor în părticele mai mici prin această măcinare, în acelaşi fel în care se schimbă culoarea unei plăci subţiri prin variaţia grosimii.

* Fibre, filamente.

Acesta este şi motivul pentru care florile colorate ale plantelor şi vegetalelor devin prin măcinare de obicei mai transparente decît înainte sau cel puţin îşi schimbă culoarea într-un grad oarecare. Nu mai puţin conform cu concepţia mea este şi faptul că, dacă amestecăm diverse lichide, se pot efectua produceri şi schimbări de culori foarte ciudate şi remarcabile, care nu pot avea o cauză mai naturală şi mai raţională decît că corpusculii salini ai unui lichid acţionează în mod variat asupra corpusculilor coloranţi ai altora sau se unesc cu ele, astfel că le umflă sau le contractă (şi deci nu numai volumul, ci şi densitatea lor se poate schimba), ori le divide în corpuscule mai mici (prin care un lichid colorat poate deveni transparent) sau se întîmplă ca unele dintre ele să se asocieze într-o singură masă, în aşa fel încît două lichide transparente pot compune unul colorat. Într-adevăr, se vede prin experienţă cît de potriviţi sînt aceşti dizolvanţi salini să pătrundă şi să dizolve substanţele la care se aplică, astfel ca unele dintre ele să precipite ceea ce altele dizolvă. În mod analog, dacă considerăm variatele fenomene ale atmosferei, putem observa că, atunci cînd se ridică vaporii mai întîi, ei nu împiedică transparenţa aerului, fiind divizaţi în părţi prea mici pentru a cauza vreo reflexie la suprafeţele lor. Cînd însă pentru a compune picăturile de ploaie ei încep să se unească şi să formeze globule de toate mărimile posibile, acele globule, cînd ajung la o mărime suficientă pentru a reflecta anumite culori şi a transmite altele, pot alcătui nori de diverse culori potrivit mărimii lor. Nu văd ce se poate concepe mai raţional într-o astfel de substanţă transparentă cum este apa pentru producerea acelor culori decît mărimile diferite ale particulelor ei fluide şi globulare.

PROPOZIŢIA VI

Părţile corpurilor de care depind culorile lor sînt mai dense decît mediul care există în interstiţiile lor.

Aceasta va fi evident considerînd că culoarea unui corp depinde nu numai de razele care cad perpendicular pe părţile sale, ci şi de acele care sînt incidente sub orice alte unghiuri. Apoi, potrivit observaţiei a 7-a, o variaţie foarte mică a înclinaţiei va schimba culoarea reflectată acolo unde corpul subţire sau micile particule sînt mai rare decît mediul ambiant, pînă într-atîta încît o astfel de particulă mică va reflecta la incidenţe oblice diferite toate felurile de culori

într-o varietate atît de mare, încît culoarea care rezultă din toate razele reflectate confuz de o îngrămădire de astfel de particule va fi mai curînd albă sau gri decît orice altă culoare sau, în cazul cel mai bun, o culoare nedefinită și foarte ștearsă. Dimpotrivă, dacă corpul subțire sau mica particulă este cu mult mai densă decît mediul ambiant, culorile, potrivit observației a 19-a, se schimbă atît de puțin prin variația înclinației, încît razele reflectate mai puțin oblic trebuie să predomine asupra restului, astfel încît face ca o mulțime de astfel de particule să apară foarte intens colorate.

La confirmarea acestei propoziții mai contribuie faptul că, potrivit observației a 22-a, culoarea prezentată de corpul subțire mai dens din interiorul celui rar este mai vie decît cea prezentată de cel mai rar în interiorul celui mai dens.

PROPOZIȚIA VII

Mărimea părților componente ale corpurilor naturale poate fi dedusă din culorile lor.

Într-adevăr, părțile acestor corpuri, potrivit propoziției a 5-a, prezintă foarte probabil aceleași culori ca o placă de o anumită grosime și, admițînd că au aceeași densitate reflectatoare, părțile lor par să aibă aproape aceeași densitate ca apa sau sticla, ceea ce se poate deduce în mod natural din mai multe fapte. Pentru a determina mărimile acelor părți, n-aveți decît să recurgeți la tabelele precedente, în care sînt expuse grosimile straturilorde apă sau ale sticleicare prezintă anumite culori. Astfel, dacă dorim să cunoaștem diametrul unui corpuscul, care, avînd o densitate egală cu a sticlei, va reflecta un verde de ordinul al treilea, numărul $16\frac{1}{4}$ arată că el este de

$$\frac{16\frac{1}{4}}{10000} \text{ inch.}$$

Dificultatea cea mai mare constă în a cunoaște de ce ordin este culoarea unui corp. În acest scop trebuie să recurgem la observațiile a 4-a și a 18-a, din care se pot deduce următoarele concluzii.

Stacojiul și celelalte culori, *roșu*, *portocaliu* și *galben*, dacă sînt pure și intense, sînt foarte probabil de ordinul al doilea. Cele de ordinul întîi și al treilea de asemenea pot fi foarte bune, numai galbenul

de ordinul întîi e slab, iar portocaliul şi roşul, de ordinul al treilea, au un mare amestec de violet şi albastru.

Pot exista şi culori *verzi* frumoase de ordinul al patrulea, dar cel mai pur este verdele de ordinul al treilea. De acest ordin pare a fi verdele tuturor vegetalelor, pe de o parte din cauza intensităţii culorilor sale şi, pe de altă parte, din cauză că, dacă se veştejesc, unele dintre ele devin galben-verzui, pe cînd altele tind spre un galben sau portocaliu mai perfect sau poate spre un roşu, trecînd mai întîi prin toate culorile intermediare menţionate mai sus. Aceste schimbări par a fi produse de evaporarea sevei pe care o conţin, din care cauză corpusculii coloranţi devin mai denşi şi chiar puţin mai mari prin adăugarea părţii uleioase sau pămînt oase a acestei seve. Fără îndoială că verdele este de acelaşi ordin cu culorile în care se transformă, din cauză că schimbarea este treptată şi acele culori care în mod obişnuit nu sînt foarte pline totuşi adesea sînt prea pure şi vii pentru a fi de ordinul al patrulea.

Albastrul sau *purpuriul* pot fi ambele de ordinul al doilea sau al treilea însă cele mai bune sînt de ordinul al treilea. Astfel culoarea viorelelor pare a fi de acest ultim ordin, deoarece siropul lor în lichide acide devine roşu, iar în cele urinoase şi alcaline devine verde. Într-adevăr, fiindcă natura acizilor este să dizolve sau să dilueze, iar a soluţiilor alcaline să precipite sau să îngroaşe, dacă culoarea purpurie a siropului era de ordinul al doilea, un lichid acid prin diluarea corpusculilor coloranţi o va schimba într-un roşu de ordinul întîi, pe cînd unul alcalin, îngroşîndu-l, îl va transforma într-un verde de ordinul al doilea ; roşul şi verdele, în special verdele, par prea nedefinite pentru a fi culori produse prin aceste schimbări. Dacă însă presupunem că purpuriul amintit este de ordinul al treilea, tranformarea sa în roşu de ordinul al doilea şi verde de al treilea poate fi admisă fără nici un incovenient.

Dacă s-ar găsi vreun corp de un purpuriu mai închis şi mai puţin roşiatic decît cel al viorelelor, culoarea lui ar fi foarte probabil de ordinul al doilea. Totuşi, pentru că în general nu se cunoaşte nici un corp a cărui culoare să fie în mod constant mai închisă decît a acelora, m-am folosit de numele lor pentru a denumi culorile purpurii mai închise şi mai puţin roşietice, care în mod evident întrec în puritate culoarea lor.

Chiar şi *albastrul* de ordinul întîi, deşi foarte slab şi neînsemnat, poate fi totuşi, culoarea unor substanţe în particular culoarea azurie a cerului pare să fie de acest ordin. Într-adevăr, toţi vaporii, cînd

încep să se condenseze și să se adune în particule mici, capătă mai întîi mărimea la care un astfel de azuriu trebuie să se reflecte înainte ca ei să formeze ori de alte culori. Astfel această primă culoare pe care vaporii încep s-o reflecte trebuie să fie culoarea celui mai clar și mai transparent cer, în care vaporii nu au ajuns la mărimea cerută pentru a reflecta alte culori, după cum constatăm prin experiență.

Albul, dacă este foarte intens și luminos este cel de ordinul întîi; dacă este mai puțin intens și luminos, este un amestec de culori de diferite ordine. De acest ultim fel este albul spumei, al hîrtiei, al pînzei și al celor mai multe substanțe albe; consider că metalele albe sînt de primul fel. Căci chiar metalul cel mai dens, aurul, dacă este tras în foițe foarte subțiri, transparent și toate metalele devin transparente dacă sînt dizolvate în solvenți sau sînt vitrificate, în timp ce opacitatea metalelor albe nu provine numai din densitatea lor. Acestea, fiind mai puțin dense decît aurul, ar trebui să fie mai transparente decît el dacă alături de densitate nu ar exista și alte cauze ca să le facă opace. Consider că altă cauză este faptul că particulele lor au exact mărimea necesară ca să reflecte albul de ordinul întîi. Într-adevăr, dacă sînt de altă mărime, aceste particule pot să reflecte alte culori, după cum se observă la culorile care apar pe oțelul incandescent cînd e călit, iar uneori pe suprafața metalelor topite în crusta sau zgura ce ia naștere la răcirea lor. După cum albul de ordinul întîi e cel mai intens ce se poate ivi la plăcile substanțelor transparente, la fel trebuie să fie mai intens în substanțele mai dense ale metalelor decît în cele mai rare ale aerului, apei și sticlei. Nu văd nimic care să împiedice ca substanțele metalice cu o grosime ce le poate face să reflecte albul de ordinul întîi să poate reflecta, datorită marii lor densități (în sensul propoziției I), toată lumina incidentă pe ele și astfel să fie mai opace și mai sclipitoare decît orice alt corp. Aurul sau cuprul, topite împreună cu o cantitate de argint egală cu mai puțin de jumătate din greutatea lor sau staniu ori antimoniu sau amalgamate cu puțin mercur, devin albe, ceea ce arată că particulele de metal alb au suprafețe cu mult mai mari și astfel sînt cu mult mai mici decît cele de aur sau de cupru și de asemenea că ele sînt atît de opace, încît nu lasă ca particulele de aur și de argint să lucească între ele. Cu greu ne putem îndoi că culorile aurului și ale cuprului sînt de ordinul al doilea și al treilea și deci particulele metalelor albe nu pot fi cu mult mai mari decît se cere pentru a le face să reflecte albul de ordinul întîi. Volatilitatea mercurului arată că ele nu sînt cu mult mai mari și nici nu pot fi cu mult mai mici, altfel și-ar pierde opacitatea și ar deveni fie transparente, cum se

întîmplă cînd sînt diluate prin vitrificare sau prin dizolvare în solvenţi, fie negre, ca atunci cînd sînt măcinate mărunt, frecînd argintul sau staniul ori plumbul pe alte substanţe pentru a le utiliza la trasarea liniilor negre. Prima şi singura culoare pe care o iau metalele albe cînd particulele lor sînt măcinate mai mărunt este cea neagră, şi, prin urmare, albul lor trebuie să fie acela care înconjură pata neagră din centrul inelelor colorate, adică un alb de ordinul întîi. Dacă însă doriţi să deduceţi de aici mărimea particulelor metalice, trebuie să ţineţi seama de densitatea lor. Căci, dacă mercurul ar fi transparent, densitatea lui are o astfel de valoare, încît (după calculul meu) sinusul de incidenţă ar trebui să fie faţă de sinusul de refracţie în raportul 71/20, sau 7/2. Aşadar, pentru ca particulele sale să poată prezenta aceleaşi culori ca bulele de săpun, ar trebui să fie mai mici decît grosimea lamelei acestor bule în raportul 2/7. De aceea e posibil ca particulele de mercur să fie tot atît de mici ca particulele unor fluide transparente şi volatile şi cu toate acestea să reflecte albul de ordinul întîi.

În fine, pentru producerea *negrului*, corpusculii trebuie să fie mai mici decît oricare dintre cei care prezintă culori. Căci toate particulele mai mari reflectă prea multă lumină pentru a forma această culoare. Dacă însă presupunem că ei sînt ceva mai mici decît se cere pentru a reflecta albul şi albastrul cele mai slabe de ordinul întîi, ei vor reflecta, potrivit observaţiilor a 4-a, a 8-a, a 17-a şi a 18-a, atît de puţină lumină, încît apar intens negri; totuşi o pot reflecta diferit într-o parte şi în alta în interiorul lor, pînă cînd e pierdută şi stinsă, în urma căreia aceşti corpusculi vor apărea negri fără nici o transparenţă în toate poziţiile ochiului. De aici se poate înţelege de ce focul şi putrezirea care distruge şi mai profund, divizînd particulele substanţelor, le înnegreşte şi de ce cantităţi mici de substanţe negre îşi comunică culoarea atît de uşor şi intens altor substanţe cu care ajung în contact; particulele minuscule ale substanţelornegre, din cauza numărului lor mare, acoperă uşor particulele mari ale celorlalte substanţe; de ce sticla frecată cu foarte mare grijă cu nisip pe o placă de cupru pînă ce e bine şlefuită face ca nisipul împreună cu ceea ce se rade din sticlă şi cupru să devină foarte negru, de ce substanţele negre se încălzesc mai repede decît altele la lumina solară şi se aprind (efect care poate proveni parte din mulţimea refracţiilor într-un spaţiu mic şi parte din agitaţia uşoară a corpusculilor foarte mici) şi de ce corpurile negre de obicei bat puţin o culoare albăstruie. Despre aceasta ne putem convinge luminînd o hîrtie albă cu lumină reflectată de substanţe negre. Într-adevăr, hîrtia va apărea de

obicei într-o culoare albă-albăstruie; cauza este că negrul mărgineşte albastrul întunecat de primul ordin, descris în observaţia a 18-a, şi deci reflectă mai multe raze ale acestei culori decît ale altora.

În aceste descrieri am fost ceva mai detaliat, din cauză că nu e imposibil ca microscopul să se perfecţioneze în cele din urmă atît de mult, încît să se descopere particulele corpurilor de care depind culorile lor, deşi pînă acum nu a ajuns chiar la acel grad de perfecţionare. Căci dacă aceste instrumente sînt sau pot fi perfecţionate încît să poată reprezenta cu destulă claritate obiectele de cinci sau de şase sute de ori mai mari decît apar ochiului nostru liber la o distanţă de un picior, sper că vom fi în stare să descoperim unii dintre corpusculii respectivi de cele mai mari dimensiuni. Iar cu unul care ar mări de trei sau de patru mii de ori poate că se vor descoperi toate, cu excepţia celor care produc negrul. Pînă atunci nu văd în această expunere nimic esenţial care ar putea fi pus la îndoială, cu excepţia afirmaţiei că corpusculele transparente de aceeaşi grosime şi densitate cu o placă prezintă aceeaşi culoare. Dar nici aceasta nu aş dori să fie înţeleasă în toată rigoarea, pe de o parte fiindcă acei corpusculi pot avea forme neregulate şi unele raze pot cădea pe ei oblic şi astfel pot parcurge prin ei un drum mai scurt decît lungimea diametrului lor, iar pe de altă parte şi fiindcă presiunea mediului micşorat din toate părţile de astfel de corpusculi le poate întrucîtva modifica mişcările sau celelalte calităţi de care depinde reflexia. Totuşi, nu pot pune la îndoială acest ultim raţionament, deoarece am observat că unele plăci de mică de aceeaşi grosime, fiind privite prin microscop, apăreau la marginile şi colţurile lor, unde se termina mediul închis, de aceeaşi culoare pe care o aveau în alte părţi ale lor. Oricum, am fi foarte satisfăcuţi dacă acei corpusculi ar fi descoperiţi cu microscopul, ceea ce, dacă cu timpul am obţinea-o, cred că aceasta ar fi cea mai mare perfecţionare a acestui simţ. Într-adevăr, pare imposibil să descoperim secretele mai adînci şi fenomenele ascunse ale naturii în aceşti corpusculi din cauza transparenţei lor.

PROPOZIŢIA VIII

Cauza reflexiei nu este ciocnirea luminii de solid sau de părţile impenetrabile ale corpurilor, după cum se crede de obicei.

Aceasta se va vedea din următoarele consideraţii. *În primul rînd*, la trecerea luminii din sticlă în aer, reflexia e tot atît de intensă

ca la trecerea din aer în sticlă sau chiar ceva mai intensă şi în oarecare măsură mai intensă decît la trecerea ei din sticlă în apă. Nu se pare de loc probabil că aerul ar avea părţi mai intens reflectatoare decît apa sau sticla. Dar, chiar dacă am considera aşa ceva posibil, nu ne-ar servi la nimic, căci reflexia e tot atît de intensă cînd aerul e scos din sticlă (de exemplu cu pompa de aer inventată de *Otto Gueriet**, perfecţionată şi făcută utilizabilă de d. *Boyle*) ca şi atunci cînd aerul e în interiorul ei. *În al doilea rînd*, dacă lumina în trecerea ei din sticlă în aer cade mai oblic decît sub un unghi de 40 sau 41° se reflectă total, iar dacă incidenţa a mai puţin oblică, atunci în cea mai mare parte se transmite. Nu ne putem însă imagina că lumina la un anumit grad de înclinaţie se întîlneşte cu destui pori în aer pentru a se transmite în cea mai mare parte, iar la un alt grad de înclinaţie nu se întîlneşte decît cu părţi care o reflectă complet, în special considerînd că la trecerea din aer în sticlă, oricît de oblică ar fi incidenţa ei, există destui pori în sticlă pentru a transmite o mare parte din ea. Dacă cineva ar presupune că lumina nu e reflectată de aer, ci de părţile cele mai superficiale ale sticlei, întîlnim aceeaşi dificultate. Afară de aceasta, o astfel de presupunere e de neînţeles şi va apărea şi falsă dacă punem în spatele unei porţiuni a sticlei apă în loc de aer. Căci pentru o înclinare convenabilă a razelor, cum ar fi de 45 sau 46°, la care toate se reflectă cînd aerul este în interiorul sticlei, ele vor fi transmise în măsură mai mare cînd în interiorul sticlei este apă, ceea ce arată că reflexia sau transmisia depinde de constituţia aerului şi a apei din spatele sticlei şi nu de incidenţa razelor pe părţile solide ale sticlei. *În al treilea rînd*, dacă culorile produse de o prismă aşezată la intrarea unui fascicul de lumină într-o cameră întunecată cad succesiv pe o a doua prismă situată la o distanţă mai mare decît prima, în aşa fel încît au aceeaşi incidenţă pe ea, prisma a doua se poate înclina în aşa fel faţă de razele incidente, încît toate cele de culoare albastră vor fi reflectate de ea, pe cînd cele roşii vor fi în mare parte transmise. Dacă reflexia ar fi cauzată de părţile aerului sau ale sticlei, aş vrea să aflu de ce la acelaşi unghi de incidenţă toate razele albastre vor lovi în plin acele părţi, astfel încît toate să fie reflectate şi totuşi roşul să găsească pori suficienţi pentru a fi transmis într-o mare măsură. *În al patrulea rînd*, dacă două sticle sînt în contact, acolo nu există reflexie sensibilă, după cum s-a spus în observaţia întîi; eu nu văd nici un motiv pentru care razele nu ar lovi părţile sticlei la fel cînd sînt în contact cu altă

---

* Otto Guericke.

sticlă sau cînd sînt învecinate cu aerul. *În al cincilearînd*, dacă vîrful unui balon de săpun (observaţia a 17-a) prin continua scurgere şi vaporizare a apei devenea foarte subţire, atunci se reflecta pe el o cantitate atît de mică şi aproape insensibilă de lumină, încît părea intens negru, pe cînd în jurul petei negre unde lamela de apă era mai groasă reflexia era atît de intensă, încît făcea ca apa să pară foarte albă. Dar nu numai la cea mai mică grosime a plăcilor subţiri sau a baloanelor de săpun nu se vede nici o reflexie, ci la multe alte grosimi care cresc din ce în ce mai mult. Într-adevăr, în observaţia a 15-a razele de aceeaşi culoare se transmit alternativ la o anumită grosime şi se reflectă la o altă grosime pentru un număr nedeterminat de succesiuni. Totuşi, la suprafaţa corpurilor subţiri, unde grosimea este neglijabilă, razele lovesc tot atîtea părţi ca şi acolo unde există altă grosime. *În al şaselea rînd*, dacă reflexia este cauzată de părţile corpurilor reflectatoare, atunci va fi imposibil pentru plăcile subţiri sau pentru baloanele de săpun să reflecte razele de o culoare şi să transmită pe cele de altă culoare într-unul şi acelaşi loc, cum se întîmplă potrivit observaţiilor a 13-a şi a 15-a. Căci nu ne putem imagina că într-un loc razele care, de exemplu, prezintă o culoare albastră pot din întîmplare să întîlnească particulele corpului, iar cele care prezintă roşu să nimerească porii corpului; apoi ca într-un alt loc unde corpul este fie puţin mai gros, fie puţin mai subţire,din contra albastrul să nimerească porii, iar roşul să lovească particulele. *În sfîrşit*, dacă razele de lumină s-ar reflecta prin atingerea particulelor solide ale corpurilor, reflexiile lor de către corpurile şlefuite nu ar fi atît de regulate. Într-adevăr, dacă sticla este şlefuită cu nisip, chit sau tripoli*, nu ne putem imagina că acele substanţe pot, prin zgîrierea şi frecarea sticlei, să dea particulelor lor celor mai mici un lustru perfect, astfel ca întreaga lor suprafaţă să fie perfect plană sau sferică, şi să aibă pretutindeni acelaşi aspect, astfel încît să formeze împreună o suprafaţă netedă. Cu cît sînt mai mici particulele acelor substanţe, cu atît vor fi mai mici zgîrieturile făcute de frecarea şi de uzarea continuă a sticlei pînă cînd se şlefuieşte; dar ele nu pot fi niciodată atît de mici încît să uzeze sticla altfel decît prin frecare, zgîriere şi rupînd proeminenţele; prin urmare, şlefuirea nu are loc altfel decît prin reducerea rugozităţii la grăunţe foarte fine, în aşa fel că zgîrieturile şi şănţuleţele suprafeţei să devină mai mici decît pot fi observate. În consecinţă, dacă lumina s-ar reflecta la atingerea

* Sediment de bioxid de siliciu, alcătuit din scoici şi infuzori, întrebuinţat în industrie.

particulelor solide ale sticlei, ea ar fi împrăştiată în aceeaşi măsură de sticla cea mai lucioasă ca şi de cea mai rugoasă. Atunci rămîne problema cum se poate ca sticla şlefuită cu substanţe care îi zgîrîie suprafaţa poate reflecta lumina aşa cum se întîmplă de fapt. Această problemă nu se poate rezolva altfel decît presupunînd că reflexia unei raze nu se efectuează de un singur punct al corpului reflectator, ci de o anumită putere a corpului care este în mod egal răspîndită pe întreaga lui suprafaţă şi prin care corpul acţionează asupra razei fără contact imediat. Într-adevăr, părţile corpului acţionează la distanţă asupra luminii, după cum se va arăta în cele ce urmează.

Dacă lumina nu se reflectă prin lovirea de părţile solide ale corpurilor, ci datorită vreunui alt principiu, este probabil că razele care lovesc părţile solide ale corpurilor nu sînt reflectate, ci se sting şi se pierd în corpuri. Căci altfel trebuie să admitem două feluri de reflexii. Dacă toate razele care lovesc părţile interne ale apei limpezi sau ale cristalului s-ar reflecta, acele substanţe ar avea mai degrabă o culoare tulbure decît o transparenţă clară. Pentru a face corpurile să apară negre este necesar ca o mare parte din raze să fie oprite, reţinute şi pierdute în el şi nu este probabil ca vreo rază oarecare să se oprească şi să se stingă în el fără să lovească părţile acelui corp.

De aici putem trage concluzia că corpurile sînt cu mult mai rare şi mai poroase decît se crede în general. Apa este de nouăsprezece ori mai uşoară şi, în consecinţă, de nouăsprezece ori mai rară decît aurul, iar aurul este atît de rar, încît transmite foarte uşor şi fără cea mai mică opoziţie fluxurile magnetice, admite cu uşurinţă mercurul în porii săi şi lasă apa să treacă prin el. Într-adevăr, o sferă concavă de aur umplută cu apă şi sudată, supusă unei presiuni mari, lăsa să străbată apa prin ea şi să se depună pe faţa ei exterioară într-o mulţime de picături mici ca roua fără să sfărîme sau să spargă sfera de aur, după cum am fost informat de un martor ocular. Din toate acestea putem conchide că aurul are mai mulţi pori decît părţi solide şi că, în consecinţă, apa are peste patruzeci de ori mai mulţi pori decît părţi solide. Cine va găsi o ipoteză potrivit căreia apa poate fi atît de rară şi totuşi fără să fie posibil să fie comprimată prin forţă poate face fără îndoială prin aceeaşi ipoteză ca aurul, apa şi toate celelalte corpuri să pară atît de rare cît doreşte, astfel ca lumina să poată găsi o trecere uşoară prin substanţele transparente.

Magnetul acţionează asupra fierului prin toate corpurile dense nemagnetice sau incandescente fără vreo micşorare a puterii sale, ca, de exemplu, prin aur, argint, plumb, sticlă, apă. Forţa gravitaţională a Soarelui se transmite prin corpurile mari ale planetelor fără

vreo micşorare, astfel că acţionează asupra tuturor părţilor lor spre centrele lor adevărate cu aceeaşi forţă şi după aceleaşi legi ca şi cînd partea asupra căreia acţionează nu ar fi înconjurată de corpul planetei. Razele de lumină, fie că sînt corpuri foarte mici proiectate sau numai mişcare sau forţă propagată, se mişcă în linii drepte; ori de cîte ori o rază luminoasă este abătută de la drumul său rectiliniu de un obstacol oarecare, ea nu se va întoarce niciodată pe aceeaşi cale rectilinie, decît poate printr-o foarte mare întîmplare. Totuşi lumina se transmite prin corpuri solide transparente în linii drepte la distanţe foarte mari. Este foarte greu, deşi probabil nu cu totul imposibil de conceput, în ce fel pot avea corpurile o cantitate suficientă de pori pentru a produce aceste efecte. Căci culorile corpurilor se nasc, după cum s-a explicat mai sus, din mărimile particulelor care le reflectă. Concepem aceste particule ale corpurilor că fiind dispuse între ele în aşa fel încît intervalele sau spaţiile goale dintre ele pot fi egale în mărime cu toate particulele luate împreună şi că aceste particule pot fi compuse din alte particule cu mult mai mici, care au atîtea spaţii vide între ele încît să egaleze toate mărimile acestor particule mai mici, şi că la fel aceste particule mai mici sînt iarăşi compuse din alte particule mai mici, care toate împreună sînt egale cu toţi porii sau spaţiile goale dintre ele, şi în continuare la fel pînă ce se ajungeau la particule solide care să nu aibă între ele pori sau spaţii vide. Iar dacă într-un corp voluminos există, de exemplu, trei astfel de grade de particule, dintre care cele mai mici sînt solide, acest corp va avea de şapte ori mai mulţi pori decît părţi solide. Dacă însă sînt patru astfel de grade de particule, dintre care cele mai mici sînt solide, corpul va avea de cincisprezece ori mai mulţi pori decît părţi solide. Dacă există cinci grade, corpul va avea de treizeci şi unu de ori mai mulţi pori decît părţi solide. Dacă sînt şase grade, corpul va avea de şasezeci şi trei de ori mai mulţi pori decît părţi solide. Mai sînt şi alte căi de a concepe în ce chip corpurile pot fi atît de poroase. Dar adevărata lor constituţie internă încă nu o cunoaştem.

PROPOZIŢIA IX

Corpurile reflectă şi refractă lumina printr-una şi aceeaşi forţă, exercitată în mod diferit în diferite condiţii.

Aceasta se demonstrează prin diverse consideraţii. *Întîi*, din cauză că lumina, cînd trece din sticlă în aer, iese cît mai oblic cu

putinţă, iar dacă incidenţa devine şi mai oblică, atunci se reflectă total. Dacă incidenţa devine mai oblică, puterea sticlei după ce a refractat lumina cît se poate de oblic devine atît de mare, încît nu mai lasă razele s-o străbată şi, în consecinţă, produce reflexia totală. *În al doilea rînd*, fiindcă lumina este în mod alternativ reflectată şi transmisă de plăcile subţiri de sticlă în mai multe succesiuni, pe măsură ce grosimea plăcii creşte în progresie aritmetică. Într-adevăr, grosimea plăcii este aceea care determină dacă puterea prin care sticla acţionează asupra luminii o face să se reflecte sau să fie transmisă. *În al treilea rînd*, deoarece suprafeţele corpurilor transparente care au puterea de refracţie maximă reflectă cantitatea cea mai mare de lumină, după cum s-a arătat în prima propoziţie.

PROPOZIŢIA X

Dacă lumina e mai rapidă în corpuri decît în vid în raportul sinusurilor care măsoară refracţia corpurilor, forţele corpurilor de a reflecta şi a refracta lumina sînt aproximativ proporţionale cu densităţile aceloraşi corpuri, cu excepţia corpurilor uleioase şi sulfuroase, care refractă mai mult decît altele de aceeaşi densitate.

Fie AB (fig. 8) suprafaţa plană de refracţie a unui corp, iar IC o rază incidentă care cade foarte oblic pe corp în C, astfel că unghiul ACI poate fi infinit de mic, şi fie CR raza refractată. Dintr-un punct B dat să ridicăm perpendicular pe suprafaţa de refracţie linia BR, care întîlneşte raza refractată CR în R, iar dacă CR reprezintă mişcarea razei refractate şi această mişcare se descompune în două mişcări CB şi BR, dintre care CB este paralelă cu planul de refracţie şi BR perpendiculară pe el, CB va reprezenta mişcarea razei incidente, iar BR mişcarea generată de refracţie, după cum au arătat nu demult opticienii.

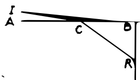


Fig. 8

Dacă un corp sau lucru mişcîndu-se printr-un spaţiu de lăţime dată, fiind mărginit în ambele părţi de două plane paralele, este împins înainte către toate părţile acelui spaţiu de forţe îndreptate către ultimul plan înainte de incidenţa sa pe primul plan nu are nici o mişcare înspre el sau numai una infinit de mică; dacă forţele în toate părţile acestui spaţiu dintre cele două plane la distanţe egale de plane sînt egale între ele, iar la distanţe diferite sînt mai

mari sau mai mici într-un raport dat, mişcarea generată de forţe în întreaga trecere a corpului sau a lucrului prin acel spaţiu va fi în raportul rădăcinii pătrate a forţelor, aşa cum vor înţelege foarte uşor matematicienii. Prin urmare, dacă considerăm că un astfel de spaţiu este spaţiul de activitate al suprafeţelor de refracţie ale corpului, atunci mişcarea razei produsă de forţa de refracţie a corpului în timpul trecerii ei prin acel spaţiu, adică mişcarea *BR*, trebuie să fie proporţională cu rădăcina pătrată a forţei de refracţie. Spun deci că pătratul liniei *BR* şi, în consecinţă, forţa de refracţie a corpului sînt aproape exact proporţionale cu densitatea aceluiaşi corp. Aceasta va apărea din tabela următoare, în care sînt puse în diversele coloane rapoartele sinusurilor ce măsoară refracţiile diverselor corpuri, pătratul lui *BR*, luînd *CB* ca unitate, densităţile corpurilor determinate după greutăţile lor specifice şi puterea lor de refracţie în raport cu densităţile lor.

Refracţia aerului în această tabelă este determinată de refracţia atmosferică observată de astronomi. Într-adevăr, dacă lumina trece prin mai multe substanţe refringente sau medii din ce în ce mai dense terminate în suprafeţe paralele, suma tuturor refracţiilor va fi egală cu singura refracţie pe care ar suferi-o trecînd direct din mediul întîi în cel din urmă. Aceasta este adevărat chiar dacă numărul substanţelor refractatoare creşte la infinit, iar distanţa de la una la cealaltă descreşte atît de mult, încît lumina se poate refracta în fiecare punct al drumului său şi prin refracţii continue descrie o linie curbă. Prin urmare, întreaga refracţie a luminii la trecerea prin atmosferă în partea ei cea mai înaltă şi mai rară în jos pînă la partea cea mai joasă şi mai densă trebuie să fie egală cu refracţia pe care ar suferi-o la trecerea sub aceeaşi înclinaţie din vid direct în aerul a cărui densitate ar fi egală cu cea din partea inferioară a atmosferei. Deşi topazul fals, selenita, cristalul de stîncă, cristalul de Islanda, sticla ordinară (adică nisip topit) şi sticla de antimoniu, care sînt constituite din concreţiuni terestre, pietroase, alcaline şi aerul care probabil provine din astfel de substanţe prin fermentaţie, sînt substanţe care au densităţi foarte diferite una de cealaltă, totuşi după această tabelă îşi au puterile de refracţie aproape în acelaşi raport ca şi densităţile lor, cu excepţia faptului că refracţia acelei substanţe curioase, cristalul de Islanda, e cu ceva mai mare decît la celelalte. În particular, aerul, care e de 3 500 de ori mai rar decît topazul fals, de 4 400 de ori mai rar decît sticla de antimoniu şi de 2 000 de ori mai rar decît selenita, sticla ordinară sau cristalul de stîncă, are în ciuda acestui fapt aceeaşi putere de refrac-

Corpuri refringente	Raportul dintre sinusul de incidenţă şi cel de refracţie al luminii galbene		Rădăcina pătrată a lui *BR* cu care e proporţională forţa de refracţie a corpului	Densitatea şi greutatea specifică a corpului	Puterea de refracţie a corpului în raport cu densitatea lui
Topazul fals este o piatră naturală, transparentă, casantă, fibroasă, de culoare galbenă	23 la	14	1,699	4,27	3 979
Aer	3 201 la	3 200	0,000625	0,0012	5 208
Sticlă de antimoniu	17 la	9	2,568	5,28	4 864
Selenit	61 la	41	1,213	2,252	5 386
Sticlă ordinară	31 la	20	1,4025	2,58	5 436
Cristal de stîncă	25 la	16	1,445	2,65	5 450
Cristal de Islanda	5 la	3	1,778	2,72	6 536
Sare gemă	17 la	11	1,388	2,143	6 477
Alaun	35 la	24	1,1267	1,714	6 570
Borax	22 la	15	1,1511	1,714	6 716
Salpetru	32 la	21	1,345	1,9	7 079
Vitriol de Danzig	303 la	200	1,295	1,715	7 551
Ulei de vitriol	10 la	7	1,041	1,7	6 124
Apă de ploaie	529 la	396	0,7845	1	7 845
Gumă arabică	31 la	21	1,179	1,375	8 574
Spirt de vin bine rafinat	100 la	73	0,8765	0,866	10 121
Camfor	3 la	2	1,25	0,996	12 551
Ulei de măsline	22 la	15	1,1511	0,913	12 607
Ulei de in	40 la	27	1,1948	0,932	12 819
Spirt de terebentină	25 la	17	1,1626	0,874	13 222
Chihlimbar	14 la	9	1,42	1,04	13 654
Diamant	100 la	41	4,949	3,4	14 556

ţie în raport cu densitatea sa, pe care o au substanţele foarte dense în raport cu densitatea lor, cu excepţia micilor diferenţe care există între puterile lor de refracţie şi densităţile lor.

Dacă comparăm refracţiile camforului, uleiului de măsline, uleiului de in, spirtului de terebentină şi chihlimbarului, care sînt corpuri sulfuroase, uleioase, şi a diamentului, care, probabil, e o substanţă uleioasă coagulată, va apărea că puterile de refracţie a acestor substanţe diferite sînt aproximativ în acelaşi raport ca şi

densităţile lor, fără să apară vreo abatere considerabilă. Dar puterile de refracţie ale acestor substanţe uleioase sînt de două sau de trei ori mai mari în raport cu densităţile lor decît puterile de refracţie ale substanţelor menţionate mai înainte în raport cu densităţile lor.

Apa are o putere de refracţie mijlocie între cele două feluri de substanţe, fiind probabil de natură intermediară. Din ea derivă toate substanţele vegetale şi animale, care constau atît din părţi sulfuroase, grase şi inflamabile, cît şi din părţi terestre, slabe şi alcaline.

Sărurile şi vitriolurile au puteri de refracţie de grad mijlociu între cele ale substanţelor terestre şi apei şi, în consecinţă, sînt compuse din acele două feluri de substanţe. Într-adevăr, la distilarea şi la rectificarea spirtului lor, o mare parte din ele se transformă în apă, iar o mare parte rămîne sub formă de pămînt uscat, fixat, care poate fi vitrificat.

Spirtul de vin are o putere de refracţie mijlocie între cea a apei şi a substanţelor uleioase şi de aceea pare a fi compus din amîndouă, unite prin fermentaţie, întrucît apa, prin intermediul unor spirturi saline cu care este impregnată, dizolvă uleiul, care prin acţiunea sa se volatilizează. Căci spiritul de vin e inflamabil datorită părţilor sale uleioase şi, dacă este multiplu distilat din sarea de tartru, la fiecare distilare devine din ce în ce mai apos şi mai mucilaginos. Chimiştii observă că plantele (cum sînt leveniţica, vîrnanţul, măghiranul etc.), distilate separat, înainte de fermentare produc ulei fără spirt arzător, însă după fermentare produc spirt fără ulei, ceea ce arată că prin fermentare uleiul lor s-a transformat în spirt. Ei mai află că, dacă se toarnă uleiuri în cantităţi mici pe plantele în fermentaţie, atunci ele îl vor distila sub formă de spirturi după fermentaţie.

În acest fel, din tabela precedentă se pare că puterile de refracţie ale tuturor corpurilor sînt proporţionale cu densităţile lor(sau foarte aproape proporţionale), cu excepţia celor care posedă particule mai mult sau mai puţin sulfuroase, uleioase, datorită căreia puterea lor de refracţie se măreşte sau se micşorează. De aceea pare raţional să se atribuie puterea de refracţie a tuturor corpurilor în cea mai mare parte, dacă nu cu totul, părţilor sulfuroase pe care acestea le conţin în mare cantitate; este probabil ca toate corpurile să conţină mai mult sau mai puţin sulf. Cu cît lumina concentrată de o lentilă convergentă acţionează mai mult asupra corpurilor sulfuroase încît le preface în foc şi flacără, cu atît sulful trebuie să acţioneze mai intens asupra luminii, fiindcă orice acţiune este reciprocă. Într-adevăr,

considerațiile care urmează arată că acțiunea dintre lumină și corpuri este reciprocă, și anume corpurile mai dense, care refractă și reflectă lumina mai intens, se încălzesc mai tare la soarele de vară prin acțiunea de refracție și reflexie a luminii.

Pînă aici am explicat puterea de reflexie și de refracție a corpurilor și am arătat că plăcile subțiri transparente, fibrele și particulele corpurilor datorită diferitelor lor grosimi și densități reflectă diverse feluri de raze și deci ele apar în diverse culori; în consecință, pentru a produce toate culorile corpurilor naturale nu se cere nimic mai mult decît diferitele mărimi și densități ale particulelor transparente din corpurile naturale. Pînă acum însă nu am explicat de unde provine faptul că aceste plăci, fibre și particule, reflectă, în urma grosimilor și densităților lor diferite, diversele feluri de raze. Pentru a permite o pătrundere mai adîncă în această materie și a înlesni înțelegerea părții a patra ce urmează a acestei cărți, voi termina această parte cu încă cîteva propoziții. Cele precedente se refereau la natura corpurilor, acestea se vor referi la natura luminii, căci ambele trebuie înțelese înainte de a putea fi înțeleasă cauza acțiunilor lor reciproce. Fiindcă ultima propoziție depindea de viteza luminii, voi începe cu o propoziție de acest gen.

PROPOZIȚIA XI

Lumina se propagă de la corpurile luminoase într-un timp oarecare și îi trebuie aproximativ șapte sau opt minute pentru a veni de la Soare la Pămînt.

Acest fapt a fost observat mai întîi de *Roemer* și apoi de alții prin studierea eclipselor sateliților lui *Iupiter*. Într-adevăr, aceste eclipse, cînd Pămîntul se află între Soare și *Iupiter*, au loc cu șapte sau opt minute mai curînd decît ar trebui după tabele, iar cînd Pămîntul este dincolo de Soare, ele se petrec cu șapte sau opt minute mai tîrziu decît trebuie, cauza fiind aceea că lumina sateliților în cazul din urmă are de parcurs un drum mai lung cu diametrul orbitei Pămîntului decît în primul caz. Oarecare inegalități de timp pot proveni din excentricitățile orbitelor sateliților, dar acestea nu pot corespunde totdeauna poziției și distanței de la Pămînt la Soare. Mișcările mijlocii ale sateliților lui Iupiter de asemenea sînt mai rapide la coborîrea lui de la afeliu la periheliu decît la ascensiunea lui pe cealaltă jumătate a orbitei sale. Această inegalitate însă nu

are nici o legătură cu poziția Pămîntului și este sensibilă la cei trei sateliți interiori, după cum am determinat eu prin calcul în teoria gravitației lor.

PROPOZIȚIA XII

Orice rază de lumină în trecerea sa printr-o suprafață refractatoare capătă o anumită constituție sau stare, care în înaintarea razei revine la intervale egale și face ca raza la fiecare revenire să fie transmisă ușor prin următoarea suprafață refractatoare, iar între reveniri să fie reflectată ușor de această suprafață.

Lucrul acesta este evident din observațiile a 5-a, a 9-a, a 12-a și a 15-a. În aceste observații apare că unul și același fel de raze pentru unghiuri egale de incidență pe plăci subțiri transparente este alternativ reflectat și transmis în mai multe succesiuni după cum grosimea plăcii crește în progresia aritmetică a numerelor 1,2,3,4,5,6,7,8 etc., astfel că, dacă prima reflexie (cea care produce primul sau cel mai dinăuntru dintre inelele colorate descrise) are loc la grosimea 1, razele se vor transmite la grosimile 0,2,4,6,8, 10,12 etc., și deci vor produce pata centrală și inelele de lumină care apar la transmisie și se vor reflecta la grosimile 1,3,5,7,9,11 etc. și deci vor produce inelele care apar la reflexie. Această reflexie și transmisie alternativă, după cum o deduc din observația a 24-a, continuă cu peste o sută de succesiuni, iar din observațiile din partea a patra a acestei cărți cu vreo cîteva mii, propagîndu-se de la o suprafață a plăcii de sticlă la cealaltă, deși grosimea plăcii este de un sfert de inch sau mai mare, astfel că această alternare pare a se propaga de la fiecare suprafață de refracție la toate distanțele fără capăt sau limitare.

Această reflexie și refracție alternativă depind de ambele suprafețe ale fiecărei plăci subțiri, fiindcă depind de distanța lor. Din observația a 21-a, dacă vreuna din cele două suprafețe ale plăcii subțiri de mică se udă, culorile cauzate de reflexia și refracția alternative devin slabe și deci această reflexie și refracție depind de ambele suprafețe.

Reflexia și refracția se produc deci la suprafața a doua; căci dacă s-ar face la prima, înainte ca razele să ajungă la a doua, nu ar depinde de cea de-a doua.

Ele sînt de asemenea influenţate de o anumită acţiune sau dispoziţie propagată de la prima suprafaţă la a doua, pentru că altfel razele venite la a doua suprafaţă nu ar depinde de prima suprafaţă. Această acţiune sau dispoziţie în propagarea ei se întrerupe şi revine la intervale egale, fiindcă în toate înaintările sale înclină raza, astfel ca la o anumită distanţă de la prima suprafaţă să se reflecte pe a doua, iar la altă distanţă să fie transmisă de ea, şi aceasta la intervale egale pentru nenumărate succesiuni. Pentru că raza e dispusă să se reflecte la distanţele 1,3,5,7,9 etc. şi să fie transmisă la distanţele 0,2,4,6,8,10 etc. (căci transmisia ei prin prima suprafaţă se face la distanţa 0 şi se transmite prin amîndouă deodată dacă distanţa lor este infinit de mică sau cu mult mai mică decît 1), dispoziţia de a fi transmisă la distanţele 2,4,6,8,10 etc. trebuie considerată ca o revenire la aceeaşi dispoziţie pe care o avea raza mai întîi la distanţa 0, adică la transmiterea ei prin prima suprafaţă de refracţie. Aceasta este tot ce voiam să demonstrez.

Aici nu cercetez ce fel de acţiune sau dispoziţie este aceasta sau dacă ea constă dintr-o mişcare circulatorie sau vibratorie a razei sau a mediului ori din altceva. Aceia care nu doresc să admită nici o descoperire nouă în afară de cele care pot fi explicate printr-o ipoteză pot admite deocamdată că, aşa cum pietrele care cad în apă pun apa într-o mişcare ondulatorie şi toate corpurile prin percuţie produc vibraţii în aer, la fel razele de lumină căzînd pe o suprafaţă de refracţie sau de reflexie excită vibraţii în mediul sau substanţa refractatoare sau reflectatoare şi, excitînd-o, agită părţile solide ale corpului refractator sau reflectator şi prin agitaţie fac ca corpul să se încălzească sau să se răcească; vibraţiile excitate în acest fel se propagă în mediul sau substanţa refractatoare sau reflectatoare în acelaşi chip în care vibraţiile se propagă în aer, dînd naştere sunetului, şi se mişcă mai repede decît razele astfel încît le întrece; dacă vreo rază este în acea parte a vibraţiei care concurează cu mişcarea sa, ea trece uşor prin suprafaţa de refracţie; cînd însă se află de partea contrară a vibraţiei care îi împiedică mişcarea, se reflectă uşor; în consecinţă, fiecare rază e succesiv dispusă să fie uşor reflectată sau uşor transmisă la fiecare vibraţie care o întrece. Eu însă nu examinez aici dacă această ipoteză este adevărată sau falsă. Mă mulţumesc cu descoperirea pură că razele de lumină dintr-o cauză sau alta sînt alternativ dispuse să fie reflectate sau refractate în diferite reprize.

DEFINIȚIE

Revenirile dispoziției unei raze de a fi reflectată le voi numi accese de ușoară reflexie și cele ale dispoziției de a fi transmise accese de ușoară transmisie, iar spațiul ce se află între fiecare revenire și cea imediat următoare intervalul acceselor sale.

PROPOZIȚIA XIII

Cauza pentru care suprafețele tuturor corpurilor transparente groase reflectă o parte din lumina incidentă pe ea și refractă restul este că unele raze la incidența lor sînt în accese de ușoară reflexie, iar altele în accese de ușoară transmisie.

Aceasta se poate deduce din observația a 24-a, unde lumina reflectată de lamele înguste de aer și sticlă, care ochiului liber îi apărea la fel de albă pe toată lamela, privită printr-o prismă apărea ondulată cu diferite succesiuni de lumină și întuneric, formate de accese alternative de ușoară reflexie, și ușoară transmisie, prisma separînd și distingînd undele din care era compusă lumina albă, după cum s-a explicat mai sus.

De aceea lumina se găsește în accese de ușoară reflexie și de ușoară transmisie înaintea incidenței sale pe corpurile transparente. Probabil că ea este pusă în astfel de accese la prima sa emisie din corpurile luminoase și continuă în ele în timpul propagării sale. Aceste accese sînt de natură durabilă, după cum va apărea în partea a patra a acestei cărți.

În această propoziție presupun că corpurile transparente sînt groase, deoarece, dacă grosimea corpului este cu mult mai mică decît intervalul de ușoară reflexie și transmisie a razelor, corpul își pierde puterea de reflexie. Într-adevăr, dacă razele care la intrarea lor în corp se află în accese de ușoară transmisie ajung la suprafața mai îndepărtată a corpului înainte de a ieși din acele accese, ele trebuie să fie transmise. Aceasta este cauza pentru care baloanele de săpun își pierd puterea de reflexie dacă devin foarte subțiri și pentru care toate corpurile opace, cînd sînt divizate în părți foarte mici, devin transparente.

PROPOZIȚIA XIV

Acele suprafețe ale corpurilor transparente care refractă raza mai puternic dacă aceasta se află într-un acces de refracție o reflectă mai ușor atunci cînd raza se află într-un acces de reflexie.

Într-adevăr, am arătat mai sus, în propoziția a VIII-a că nu incidența luminii asupra părților solide impenetrabile ale corpurilor este cauza reflexiei, ci o altă putere oarecare cu care acele părți solide acționează asupra luminii la distanță. Am arătat de asemenea în propoziția a IX-a că corpurile reflectă și refractă lumina cu una și aceeași putere exercitată diferit în condiții variate, iar în propoziția I că suprafețele cele mai intense refractatoare reflectă mai multă lumină. Toate acestea comparate între ele demonstrează și confirmă propoziția aceasta și pe cea precedentă.

PROPOZIȚIA XV

Într-unul și același fel de raze care trec sub un unghi oarecare dintr-o suprafață de refracție într-unul și același mediu, intervalele acceselor succesive de ușoară reflexie și transmisie se raportează fie exact, fie aproape exact precum produsul secantei unghiului de refracție și al secantei altui unghi al cărui sinus este primul din 106 medii aritmetice proporționale între sinusurile de incidență și refracție, calculat din sinusul de refracție.

Aceasta este evident din observațiile a 18-a și a 19-a.

PROPOZIȚIA XVI

În diferitele feluri de raze care trec dintr-o suprafață de refracție oarecare în același mediu, intervalele acceselor succesive de ușoară reflexie și de ușoară transmisie sînt fie exact fie aproape exact ca rădăcinile cubice ale pătratelor lungimilor unei coarde care produce notele unei octave sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol, împreună cu toate gradele lor intermediare corespunzătoare culorilor acelor raze, potrivit analogiei descrise în experiența a 7-a din partea a II-a a cărții întîi.

Aceasta rezultă din observațiile a 13-a și a 14-a.

PROPOZIŢIA XVII

Dacă raze de un fel oarecare traversează perpendicular mai multe medii, intervalele acceselor de uşoară reflexie şi transmisie într-un mediu oarecare sînt, către intervalele din alt mediu, în acelaşi raport ca şi sinusul de incidenţă către sinusul de refracţie cînd razele trec din primul din aceste medii în al doilea.

Aceasta rezultă din observaţia a 10-a.

PROPOZIŢIA XVIII

Dacă razele care produc culoarea de la limita dintre galben şi portocaliu trec perpendicular dintr-un mediu oarecare în aer, intervalele acceselor lor de uşoară reflexie sînt de $\frac{1}{89\,000}$ *inch. De aceeaşi lungime sînt şi intervalele acceselor lor de uşoară transmisie.*

Acest lucru rezultă din observaţia a 6-a.

Din aceste propoziţii sînt uşor de determinat intervalele acceselor de uşoară reflexie şi de uşoară transmisie ale oricăror feluri de raze refractate sub un unghi oarecare într-un mediu oarecare; de aici putem afla dacă razele vor fi reflectate sau transmise la prima lor incidenţă pe orice alt mediu transparent. Acest lucru trebuia arătat în acest loc, fiind util înţelegerii părţii următoare a acestei cărţi. Din acelaşi motiv adaug următoarele propoziţii.

PROPOZIŢIA XIX

Dacă un fel oarecare de raze căzînd pe suprafaţa netedă a unui mediu transparent este reflectat înapoi, accesele de uşoară reflexie pe care le au în punctul de reflexie, vor continua să revină, iar revenirile vor fi de la punctul de reflexie în progresia aritmetică a numerelor 2,4,6,8,10,12 etc. şi între aceste accese razele vor fi în accese de uşoară transmisie.

Într-adevăr, deoarece accesele de uşoară reflexie şi de uşoară transmisie revin în mod natural, nu există nici un motiv pentru care aceste accese care continuau pînă ce raza ajungea la mediul reflectător, unde făceau ca ea să se reflecte, să înceteze acolo. Iar dacă raza în punctul de reflexie era într-un acces de uşoară reflexie, progresia distanţelor acestor accese de la acel punct trebuie să

înceapă cu 0 şi să urmeze numerele 0,2,4,6,8 etc. Prin urmare, progresia distanţelor acceselor intermediare de uşoară transmisie, luată din acelaşi punct, trebuie să fie în progresia numerelor impare 1,3,5,7,9 etc., contrar cu ceea ce se întîmplă cînd accesele se propagă din punctele de refracţii

PROPOZIŢIA XX

Intervalele acceselor de uşoară reflexie şi uşoară transmisie propagate de la punctele de reflexie într-un mediu oarecare sînt egale cu intervalele acceselor asemănătoare pe care le-ar avea aceleaşi raze dacă s-ar refracta în acelaşi mediu sub unghiuri de refracţie egale cu unghiurile lor de reflexie.

Într-adevăr, dacă lumina se reflectă la suprafaţa a doua a plăcilor subţiri, ea iese apoi liberă la prima suprafaţă pentru a forma inelele colorate care apar în reflexie, iar la ieşirea sa liberă face să apară culorile acestor inele mai vii şi mai intense decît cele care apar de cealaltă parte a plăcilor în lumină transmisă. Razele reflectate sînt deci la ieşirea lor în accese de uşoară transmisie, ceea ce nu s-ar întîmpla totdeauna dacă intervalele acceselor în interiorul plăcilor după reflexie nu ar fi egale atît în lungime, cît şi în număr cu intervalele lor înaintea ei. Aceasta confirmă şi ipotezele enunţate în propoziţia precedentă. Căci dacă razele, atît la intrarea, cît şi la ieşirea din prima suprafaţă, se află în accese de uşoară transmisie, iar intervalele şi numărul acelor accese între suprafaţa întîia şi a doua înainte şi după reflexie sînt egale, distanţele acceselor de uşoară transmisie de la fiecare suprafaţă trebuie să fie în aceeaşi progresie după reflexie ca şi înaintea ei, adică de la prima suprafaţă, care le transmite, în progresia numerelor cu soţ, 0,2,4,6,8 etc., iar de la a doua, care le reflectă, în aceea a numerelor fără soţ, 1,3,5,7 etc. Aceste două propoziţii vor deveni mai evidente prin observaţiile din partea următoare a acestei cărţi.

Cartea a doua a OPTICII

PARTEA IV

Observaţii privitoare la reflexiile şi la culorile plăcilor groase, transparente şi netede.

Nu există nici o sticlă sau oglindă oricît de bine şlefuită care, în afară de lumina pe care o refractă sau o reflectă regulat, să nu împrăştie neregulat în toate părţile o lumină slabă, prin mijlocirea căreia suprafaţa netedă, dacă e luminată într-o cameră întunecată de un fascicul de lumină solară, poate fi uşor văzută din toate poziţiile ochiului. Lumina astfel dispersată prezintă anumite fenomene, care, cînd le-am observat mai întîi, mi-au părut foarte curioase şi surprinzătoare. Observaţiile mele sînt următoarele.

Observaţia 1. Cînd Soarele lumina în camera mea întunecată printr-o deschidere largă de o treime de inch, am lăsat fasciculul de lumină care intrase să cadă perpendicular pe o oglindă de sticlă şlefuită de o parte concavă de cealaltă convexă, după o sferă cu raza de cinci picioare şi unsprezece inch, amalgamată pe partea convexă. Ţinînd un carton alb opac sau o foaie de hîrtie în centrul sferei din care era şlefuită oglinda, adică la o distanţă de vreo 5 picioare şi 11 inch de oglindă, în aşa fel ca fasciculul de lumină să poată trece printr-un mic orificiu făcut în mijlocul cartonului la oglindă şi apoi să se reflecte înapoi în acelaşi orificiu, am observat pe carton patru sau cinci irisuri sau inele colorate concentrice, asemănătoare cu ale curcubeului, înconjurînd orificiul, la fel cu cele care apăreau între lentilele obiectiv în observaţia a 4-a şi în cele următoare din partea întîi a acestei cărţi înconjurînd pata neagră, dar mai largi şi mai slabe decît acelea. Aceste inele, pe măsură ce creşteau în lărgime, deveneau mai diluate şi mai slabe,

așa că al cincilea abia se mai vedea. Uneori însă, cînd Soarele strălucea foarte clar, apăreau trăsăturile slabe ale celui de-al șaselea și al șaptelea. Dacă distanța cartonului la oglindă era cu mult mai mare sau cu mult mai mică de șase picioare, inelele se diluau și dispăreau. Iar dacă distanța dintre oglindă și fereastră era cu mult mai mare de șase picioare, fasciculul de lumină reflectată se lărgea atît de mult la distanța de șase picioare de oglindă unde apăreau inelele, încît întuneca unul sau două din inelele interioare. De aceea eu așezam de obicei oglinda la aproximativ șase picioare de fereastră, astfel ca focarul ei să poată coincide cu centrul concavității sale, acolo unde apăreau inelele pe carton. În observațiile care urmează trebuie să se subînțeleagă întotdeauna această poziție, afară de cazul cînd se specifică contrarul.

Observația 2. Culorile acestor curcubee se succedau una după alta de la centru spre exterior, în aceeași formă și ordine cu cele produse în observația a 9-a din partea întîi a acestei cărți, nu în lumină reflectată, ci în lumină transmisă prin două lentile-obiectiv. Căci în centrul lor comun era la început o pată albă, rotundă, de lumină slabă, ceva mai largă decît fasciculul de lumină reflectată; fasciculul cădea uneori în mijlocul petei, iar alteori printr-o mică înclinare a oglinzii se îndepărta de mijloc și lăsa pata albă în centru.

Această pată albă era imediat înconjurată de un gri-închis sau brun, iar acesta era înconjurat de culorile primului iris, care în interior, imediat după griul întunecat, era puțin violet și indigo, iar imediat după acesta un albastru, care în exterior devenea pal; apoi succeda un galben puțin verzui, iar după aceea un galben mai viu, iar la marginea exterioară a irisului un roșu care în exterior înclina spre purpuriu.

Acest prim iris era imediat înconjurat de un al doilea, ale cărui culori din interior spre exterior erau în ordinea : purpuriu, albastru, verde, galben, roșu viu și un roșu amestecat cu purpuriu.

Imediat după ele urmau culorile irisului al treilea, care, luate din interior spre exterior, erau un verde înclinînd spre purpuriu, un verde clar și un roșu mai deschis decît cel al irisului precedent.

Irisul al patrulea și al cincilea păreau de un verde-albăstrui în interior și roșu în exterior, dar atît de slab încît era greu de deosebit culorile.

Observația 3. Măsurînd diametrele acestor inele pe carton cît puteam de precis, am găsit că între ele există aceeași proporție ca și între inelele formate de lumina transmisă prin două lentile obiectiv. Într-adevăr, diametrele primelor patru inele strălucitoare măsu-

rate între părţile cele mai strălucitoare ale orbitelor lor, la distanţa de şase picioare de la oglindă, erau de $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$, $3\frac{3}{8}$ inch, ale căror pătrate sînt în progresia aritmetică a numerelor 1,2,3,4. Dacă pata albă circulară din mijloc o numărăm printre inele, iar lumina ei centrală, unde pare mai luminoasă, o luăm echivalentă cu un inel infinit de mic, pătratele diametrelor inelelor vor fi în progresia 0,1,2,3,4 etc. Am măsurat şi diametrele cercurilor întunecoase care se aflau între cele luminoase şi am găsit că pătratele lor se află în progresia următoarelor $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ etc., diametrele primelor patru la distanţa de şase picioare de oglindă fiind de $1\frac{3}{16}$, $2\frac{1}{16}$, $2\frac{2}{3}$, $3\frac{3}{20}$ inch. Dacă distanţa de la carton la oglindă se mărea sau se micşora, diametrele cercurilor creşteau sau scădeau proporţional.

Observaţia 4. Din analogia dintre aceste inele şi cele descrise în observaţiile din partea I a acestei cărţi am observat că erau cu mult mai multe cele care se întindeau peste altele şi prin întrepătrundere îşi amestecau culorile şi se diluau unul în altul, astfel încît nu puteau fi observate separat. Eu le priveam printr-o prismă, cum am făcut cu cele din observaţia a 24-a din partea întîi a acestei cărţi. Cînd prisma era plasată în aşa fel încît refractînd lumina culorilor amestecate le separa, inelele se distingeau unul de altul, după cum s-a întîmplat în acea observaţie, şi astfel le-am putut vedea mai distinct decît înainte şi am putut observa opt sau nouă din ele, ba uneori douăsprezece sau treisprezece. Dacă lumina nu ar fi fost atît de slabă, nu mă îndoiesc că aş fi putut vedea cu mult mai multe.

Observaţia 5. Aşezînd o prismă la fereastră ca să refracte fasciculul de lumină care intra şi pentru ca spectrul colorat alungit să cadă pe oglindă, am acoperit oglinda cu o hîrtie albă care avea la mijloc un orificiu pentru a lăsa să treacă prin el numai una din culori în timp ce restul era oprit de hîrtie. În acest fel am văzut numai inelele culorilor care cădeau pe oglindă. Dacă oglinda era luminată cu roşu, inelele erau complet roşii cu intervale întunecoase; dacă era luminată cu albastru, ele erau complet albastre şi la fel cu celelalte culori. Cînd aceste inele erau de o singură culoare, pătratele diametrelor lor măsurate între părţile cele mai luminoase ale

orbitelor lor erau în progresia aritmetică a numerelor 0,1,2,3,4 iar pătratele diametrelor intervalelor întunecoase erau în progresia numerelor intermediare $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$. Dacă însă se schimba culoarea, mărimea inelelor varia de asemenea. În roşu ele erau cele mai mari, în indigo şi violet erau cele mai mici, iar în culorile intermediare, galben, verde şi albastru, inelele erau de diferite mărimi intermediare corespunzînd culorii respective, adică mai mari în galben decît în verde şi mai mari în verde decît în albastru. De aici am constatat că, dacă oglinda era luminată cu lumină albă, roşul şi galbenul din partea exterioară a inelelor erau produse de razele cele mai puţin refrangibile, iar albastrul şi violetul de cele mai refrangibile, şi că culorile fiecărui inel se întind printre culorile inelelor vecine de ambele părţi, după cum s-a explicat în partea întîi şi a doua a acestei cărţi şi prin amestec se diluau reciproc, încît nu se puteau distinge decît aproape de centru unde erau mai puţin amestecate. În această observaţie am putut vedea inelele mai distinct şi în număr mai mare decît înainte, fiind în stare ca în lumina galbenă să număr vreo opt sau nouă, în afară de umbra slabă a celui de-al zecelea. Pentru a mă asigura în ce măsură se întind culorile mai multor inele unul într-altul, am măsurat diametrele inelului al doilea şi al treilea şi am găsit că, dacă ele erau formate la limita dintre roşu şi portocaliu, ele sînt către aceleaşi diametre formate la limita dintre albastru şi indigo în raportul 9/8 sau aproape de această valoare. Într-adevăr, era greu să determin exact această proporţie. La fel cercurile produse succesiv de roşu, galben şi verde difereau mai mult unul de altul decît cele produse succesiv de verde, albastru şi indigo, căci cercul produs de violet era prea întunecat pentru a fi văzut. Pentru a continua calculul să presupunem deci că diferenţele diametrelor cercurilor formate succesiv de roşu extrem, limita dintre roşu şi portocaliu, portocaliu şi galben, galben şi verde, verde şi albastru, albastru şi indigo, indigo şi violet, violet şi extremul violet, sînt în aceleaşi proporţii ca şi diferenţele lungimilor unei corzi care emite tonurile unei octave : sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol, deci ca numerele $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{18}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{27}$, $\frac{1}{27}$, $\frac{1}{18}$. Dacă diametrul cercului format de limita dintre roşu şi portocaliu este $9A$, iar cea a cercului format de limita dintre albastru şi indigo este $8A$, ca mai sus, raportul între diferenţa lor $9A - 8A$ şi diferenţa diametrelor cercurilor formate de roşul extrem şi de limita dintre roşu şi porto-

caliu va fi ca $\frac{1}{18}+\frac{1}{12}+\frac{1}{12}+\frac{2}{27}$ raportate la $\frac{1}{9}$, adică în raportul $\frac{8}{27} / \frac{1}{9}$, sau 8/3, iar diferența diametrelor cercurilor formate de violetul extrem și de limita dintre albastru și indigo vor fi ca raportul între $\frac{1}{18}+\frac{1}{12}+\frac{1}{12}+\frac{2}{27}$ și $\frac{1}{27}+\frac{1}{18}$, adică în raportul $\frac{8}{27} / \frac{5}{54}$, sau ca 16/5. În consecință, aceste diferențe vor fi $\frac{3}{8}A$ și $\frac{5}{16}A$. Adunînd prima din aceste diferențe cu $9A$ și scăzînd pe ultima din $8A$, veți obține diametrele cercurilor formate de razele cele mai puțin și cele mai mult refrangibile, adică $\frac{75}{8}A$ și $\frac{61\frac{1}{2}}{8}A$. Prin urmare, aceste diametre sînt unul către celălalt în raportul $75/61\frac{1}{2}$ sau 50/41, iar pătratele lor ca 2 500/1 681, adică aproximativ în raportul 3/2. Acest raport nu diferă mult de raportul diametrelor cercurilor formate de roșul extrem și violetul extrem din observația a 13-a a părții întîi a acestei cărți.

Observația 6. Avînd ochiul așezat acolo unde inelele apăreau cel mai clar pe carton, am văzut oglinda complet acoperită cu unde colorate (roșu, galben, verde, albastru), asemănătoare celor care apăreau în observațiile din cartea întîia a acestei cărți între lentilele obiectiv și la baloanele de săpun, dar cu mult mai mari. La fel cu acelea, în poziții diferite ale ochiului, ele erau de diferite mărimi, dilatîndu-se și contractîndu-se după cum îmi mișcam ochiul într-o parte sau într-alta. Ele aveau forma de arce concentrice ca și acelea; cînd țineam ochiul pe un cerc care avea ca diametru raza concavității oglinzii, centrul comun al acestor unde se afla pe aceeași linie dreaptă cu centrul concavității și cu deschiderea din fereastră. Undele erau cele mai distincte cînd ochiul meu era cel mai aproape de centrul concavității, adică cînd era la o distanță în jur de 5 picioare și 10 inch de oglindă. În alte poziții ale ochiului, centrul lor avea alte poziții. Aceste unde apăreau în lumina norilor care se propaga pînă la oglindă prin deschiderea din fereastră, iar cînd

Soarele strălucea prin acea deschidere pe oglindă, lumina ei era de culoarea inelului pe care cădea, însă strălucirea lui întuneca inelele formate de lumina norilor, afară de cazul cînd oglinda era îndepărtată la o distanţă atît de mare de fereastră, încît lumina solară care cădea pe ea era întinsă şi slabă. Variind poziţia ochiului şi mişcîndu-l mai aproape sau mai departe de fasciculul direct al luminii solare, culoarea luminii solare reflectate varia permanent pe oglindă, la fel ca în ochiul meu, şi aceeaşi culoare pe care o vedeam pe oglindă îi apărea totdeauna şi unui observator pe lîngă mine. Astfel am constatat că inelele colorate de pe carton erau formate de culorile reflectate sub diverse unghiuri de oglindă pe carton şi că producerea lor nu depinde de limitarea luminii şi umbrei.

Observaţia 7. Prin analogia care am găsit-o între toate aceste fenomene şi cele care se observă la inelele colorate asemănătoare descrise în partea întîi a acestei cărţi, mi se părea că aceste culori erau produse de plăcile groase de sticlă aproape la fel ca cele produse de plăcile foarte subţiri. Într-adevăr, am aflat din experienţă că, dacă rădeam mercurul de pe dosul oglinzii, sticla singură cauza aceleaşi inele colorate, dar cu mult mai slabe decît înainte, prin urmare fenomenul nu depinde de mercur decît în măsura în care mercurul, mărind reflexia spatelui sticlei, face să crească luminozitatea inelelor colorate. Am constatat că o oglindă metalică fără sticlă, făcută de cîţiva ani în scopuri optice şi lucrată foarte bine, nu producea nici unul din aceste inele; am înţeles deci că aceste inele nu se nasc de la o singură suprafaţă de oglindă, ci depind de cele două suprafeţe ale unei plăci de sticlă din care era făcută oglinda şi de grosimea sticlei dintre ele. Căci la fel ca în observaţiile a 7-a şi a 19-a din partea întîi a acestei cărţi, o pătură subţire de aer, apă sau sticlă de aceeaşi grosime apărea de o anumită culoare cînd razele cădeau perpendicular pe ea, de alta cînd ele erau puţin oblice, de alta cînd erau mai oblice, de alta cînd erau şi mai oblice şi aşa mai departe; tot aşa aici, în observaţia a 6-a lumina, ieşind din sticlă sub mai multe înclinări, făcea ca sticla să apară în diverse culori şi, propagîndu-se sub aceste înclinaţii pînă la carton, producea acolo inele de aceleaşi culori. Aşa după cum cauza pentru care o placă subţire apărea în diverse culori pentru diferitele înclinări ale razelor era că razele de unul şi acelaşi fel sînt reflectate de o placă subţire la o înclinare şi transmise la alta, iar cele de alte feluri sînt transmise unde acestea sînt reflectate, şi reflectate unde acestea sînt transmise, la fel cauza pentru care plăcile groase de sticlă, din care era făcută oglinda, apăreau în diverse culori la înclinaţii diferite

şi cauza că la aceste înclinări se propagau culorile respective pînă la carton erau că razele de unul şi acelaşi fel ieşeau din sticlă la o înclinaţie, iar la alta nu ieşeau, ci se reflectau înapoi spre mercurul de pe spatele sticlei, iar dacă înclinaţia era din ce în ce mai mare ieşeau şi se reflectau alternativ în mai multe succesiuni şi că la una şi aceeaşi înclinaţie razele de un fel se reflectau, iar cele de alt fel se transmiteau. Aceasta rezultă din observaţia a 5-a din această parte a acestei cărţi. Într-adevăr, în această observaţie, cînd oglinda era luminată de o culoare oarecare din prismă, acea lumină forma pe carton mai multe inele de aceeaşi culoare cu intervale întunecoase şi deci la ieşirea ei din oglindă era alternativ transmisă şi netransmisă de oglindă spre carton pentru mai multe succesiuni, potrivit diferitelor înclinaţii ale emergenţei sale. Iar cînd lumina care cădea pe oglindă de la prismă varia, inelele căpătau culoarea care cădea pe ea şi îşi variau mărimea o dată cu culoarea şi deci lumina era acum alternativ transmisă şi netransmisă de oglindă spre carton la alte înclinări decît anterior. De aceea mi s-a părut că aceste inele proveneau de la una şi aceeaşi origine cu ale plăcilor subţiri, dar cu deosebirea că cele ale plăcilor subţiri sînt produse de reflexiile şi de transmisiile alternative ale razelor la suprafaţa a doua a plăcii după o trecere prin ea; aici însă razele merg de două ori prin placă înainte ca ele să fie alternativ reflectate şi transmise. Mai întîi ele trec prin ea de la prima suprafaţă de mercur şi apoi se întorc prin ea de la mercur la prima suprafaţă şi acolo sînt fie transmise spre carton, fie reflectate înapoi la mercur, după cum sînt în accesul lor de uşoară reflexie sau transmisie cînd ajung la acea suprafaţă. Căci intervalele acceselor razelor care cad perpendicular pe oglindă şi sînt reflectate înapoi pe aceleaşi perpendiculare, din cauza egalităţii acestor unghiuri şi linii, au aceeaşi lungime şi număr în interiorul sticlei după reflexie ca şi mai înainte, conform propoziţiei a 19-a a părţii a II-a a acestei cărţi. Prin urmare, fiindcă toate razele care intră prin prima suprafaţă sînt la intrarea lor în accese de uşoară transmisie, iar toate din ele care sînt reflectate pe a doua suprafaţă sînt în accese de uşoară reflexie, toate acestea trebuie să se afle la întoarcerea lor la prima suprafaţă în accesele de uşoară transmisie şi, în consecinţă, să iasă din sticlă spre carton şi să formeze pe el pata luminoasă din centrul inelelor. Acest raţionament are loc pentru toate felurile de raze, deşi toate trebuie să iasă amestecate spre acea pată şi prin amestecul lor s-o facă albă. Dar, potrivit propoziţiilor a XV-a şi a XX-a intervalele acceselor acelor raze care se reflectă

mai oblic decît intră trebuie să fie mai mari după reflexie decît înainte. De aceea se poate întîmpla ca razele la întoarcerea lor la prima suprafață, la anumite înclinații, să fie în accese de ușoară reflexie și să se întoarcă înapoi la mercur, iar la alte înclinații intermediare să fie din nou în accese de ușoară transmisie și astfel să ajungă la carton și să dea naștere pe el la inele colorate în jurul petei albe. Deoarece la înclinații egale intervalele la accese sînt mai mari și mai puține în razele mai puțin refrangibile, dar mai mici și mai numeroase în cele mai refrangibile, urmează că razele cele mai puțin refrangibile vor forma la înclinări egale mai puține inele decît cele refrangibile și că inelele produse de acele raze vor fi mai mari decît inelele formate în același număr de acestea, adică inelele roșii vor fi mai mari decît cele galbene, cele galbene decît cele verzi, cele verzi decît cele albastre, iar cele albastre decît cele violete, după cum s-a arătat de fapt în observația a 5-a. În consecință, primul inel al tuturor culorilor care înconjură pata albă de lumină va fi roșu în exterior și violet în interior, iar la mijloc galben, verde și albastru, după cum s-a arătat în observația a 2-a, iar aceste culori în inelul al doilea și în cele ce urmează vor fi mai întinse, pînă ce se răspîndesc una într-alta și se confundă reciproc prin amestec.

În general, acestea par a fi cauzele acestor inele; lucrul acesta m-a făcut să observ grosimea sticlelor și să consider dacă dimensiunile și proporțiile inelelor pot fi într-adevăr deduse din ea prin calcul.

Observația 8. Am măsurat deci grosimea acestei plăci de sticlă concav-convexă și am aflat că ea este pretutindeni exact de 1/4 inch. Potrivit observației a 6-a din partea I a acestei cărți o pătură subțire de aer transmite lumina cea mai strălucitoare a primului inel, adică galbenul cel mai viu, dacă grosimea ei este de $\frac{1}{89\ 000}$ inch, iar potrivit observației a 10-a a aceleiași părți o placă subțire de sticlă transmite aceeași lumină a aceluiași inel dacă grosimea ei este mai mică decît aceasta în raportul sinusului de refracție către sinusul de incidență, adică dacă grosimea ei este de $\frac{11}{1\ 513\ 000}$ sau $\frac{1}{137\ 545}$ inch, presupunînd că sinusurile sînt în raportul 11/17. Dacă grosimea ei se dublează ea transmite aceeași lumină strălucitoare a inelului al doilea; dacă se triplează, transmite pe a celui de-al treilea și așa mai departe, lumina galbenă vie în toate aceste cazuri fiind în accesele sale de transmisie. Prin urmare, dacă grosimea ei se înmulțește cu 34 386, așa ca să devină de 1/4 inch, ea transmite aceeași lumină vie a inelului

al 34 386-lea. Să presupunem că aceasta este lumina galbenă vie transmisă perpendicular de faţa reflectatoare convexă a sticlei prin faţa concavă spre pata luminoasă din centrul inelelor colorate de pe carton, atunci potrivit regulii din observaţiile a 7-a şi a 19-a din partea întîi a acestei cărţi şi potrivit propoziţiilor a 15-a şi a 20-a din partea a treia a acestei cărţi, dacă razele sînt înclinate faţă de sticlă, grosimea sticlei cerută să transmită aceeaşi lumină strălucitoare a aceluiaşi inel la orice înclinaţie va fi faţă de această grosime de 1/4 inch, ca secanta unui anumit unghi către rază, şi anume a unghiului al cărui sinus are valoarea egală cu 106 medii aritmetice între sinusurile de incidenţă şi de refracţie, socotindu-se sinusul de incidenţă cînd refracţia se face dintr-o placă a unui corp într-un mediu ce-l înconjură, adică în acest caz din sticlă în aer. Dacă grosimea sticlei creşte treptat astfel ca să aibă faţă de prima sa grosime (adică cea de 1/4 inch) raportul care există între 34 386 (numărul acceselor razelor perpendiculare în trecerea lor prin sticlă spre pata albă din centrul inelelor) către 34 385, 34 384, 34 383 şi 34 382 (numerele acceselor razelor oblice în trecerea lor prin sticlă spre întîiul, al doilea, al treilea şi al patrulea inel colorat) şi dacă prima grosime se divide în 100 000 000 părţi egale, grosimile mărite vor fi 100 002 908, 100 005 816, 100 008 725 şi 100 011 633, iar unghiurile ale căror secante sînt aceste grosimi vor fi 26′13″, 37′5″, 45′6″ şi 52′26″, raza fiind 100 000 000, iar sinusurile acestor unghiuri sînt 762, 1 079, 1 321 şi 1 525 şi sinusurile proporţionale de refracţie 1 172, 1 659, 2 031 şi 2 345, raza fiind 100 000. Într-adevăr, fiindcă sinusurile de incidenţă din sticlă în aer sînt faţă de sinusurile de refracţie în raportul 11/17, iar faţă de secantele menţionate mai sus ca 11 faţă de prima din cele 106 medii aritmetice între 11 şi 17, adică în raportul $11/11\frac{6}{106}$, aceste secante vor fi faţă de sinusurile de refracţie în raportul $11\frac{6}{106}/17$ şi prin această analogie vor da sinusurile respective. În acest fel, dacă înclinările razelor faţă de suprafaţa concavă a sticlei sînt astfel încît sinusurile refracţiilor lor la ieşirea din sticlă în aer prin acea suprafaţă să fie 1 172, 1 659, 2 031, 2 345, lumina strălucitoare a inelului al 34 386-lea va ieşi din sticlă la grosimea care este în acelaşi raport faţă de 1/4 inch, respectiv ca 34 386 raportat la 34 385, 34 384, 34 383, 34 382. Prin urmare, dacă grosimea sticlei în toate aceste cazuri e de 1/4 inch (după cum era la sticla din care era făcută oglinda), lumina strălucitoare a celui de al 34 386-lea inel

va ieşi acolo unde sinusul de refracţie este 1172, iar lumina inelului al 34 384-lea, al 34 383-lea şi al 34 382-lea acolo unde sinusul este respectiv 1 659, 2 031 şi 2 345. Sub aceste unghiuri de refracţie, lumina inelelor se va propaga de la oglindă spre carton şi acolo va forma inele în jurul petei albe centrale rotunde de lumină care am spus că era lumina inelului al 34 386-lea. Semidiametrele acestor inele vor subîntinde unghiurile de refracţie făcute la suprafaţa concavă a oglinzii şi, în consecinţă, diametrele lor vor fi faţă de distanţa de la carton la oglindă în acelaşi raport ca sinusurile de refracţie dublate către rază, adică precum sînt 1 172, 1 659, 2 031 şi 2 345 dublate faţă de 100 000. Aşadar, dacă distanţa de la carton la suprafaţa concavă a oglinzii e de şase picioare (cum era în observaţia a 3-a), diametrele inelelor luminii galbene strălucitoare de pe carton vor fi 1,688, 2,389, 2,925, 3,375 inch, căci aceste diametre sînt în acelaşi raport faţă de şase picioare, precum şi sinusurile amintite mai sus dublate către rază. Acum diametrele inelelor colorate luminoase găsite astfel prin calcul sînt exact aceleaşi cu cele aflate în observaţia a 3-a prin măsurători, adică cu $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{17}{12}$ şi $3\frac{3}{8}$ inch, şi deci teoria care deduce aceste inele din grosimea plăcii de sticlă din care era făcută oglinda şi din înclinaţia razelor emergente este în acord cu observaţia. În acest calcul am egalat diametrele inelelor luminoase formate din lumina de toate culorile cu diametrele inelelor făcute de galbenul strălucitor. Căci acest galben formează partea cea mai luminoasă a inelelor de toate culorile. Dacă doriţi să obţineţi diametrele inelelor formate de lumina oricărei alte culori simple, le puteţi afla exact admiţînd că ele se află faţă de diametrele inelelor galbenului strălucitor în raportul rădăcinii pătrate a intervalelor acceselor razelor de acele culori cînd sînt egal înclinate faţă de suprafaţa de refracţie sau de reflexie care provoacă acele accese, adică punînd diametrele inelelor formate de raze la extremităţile şi limitele celor şapte culori, roşu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo, violet, proporţionale cu rădăcinile cubice ale numerelor 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$, care reprezintă lungimile unei corzi ce emite notele unei octave, deoarece prin acest mijloc diametrele inelelor acestor culori se vor afla aproape exact în acelaşi raport unul cu altul pe care trebuie să-l aibă potrivit observaţiei a 5-a.

În acest chip am rămas satisfăcut că aceste inele erau de acelaşi fel şi aveau aceeaşi origine cu cele ale plăcilor subţiri şi, în con-

secință, că accesele sau dispozițiile alternative ale razelor de a fi reflectate și transmise s-au propagat la distanțe mari de la fiecare suprafață de reflexie și de refracție. Totuși, pentru a înlătura orice îndoială, am adăugat observația următoare.

Observația 9. Dacă aceste inele depind, după cum s-a arătat, de grosimea plăcii de sticlă, diametrele lor la distanțe egale de mai multe oglinzi confecționate din plăci de sticlă concav-convexe șlefuite din aceeași sferă trebuie să fie invers proporționale cu rădăcinile pătrate ale grosimilor plăcilor de sticlă. Dacă această proporție se găsește că este adevărată prin experiență, ea va duce la demonstrația că aceste inele (la fel ca cele formate la plăcile subțiri) depind de grosimea sticlei. Mi-am procurat de aceea o altă placă de sticlă concav-convexă șlefuită pe ambele fețe după aceeași sferă ca și placa precedentă. Grosimea ei era de $\frac{5}{62}$ inch, iar diametrele primelor trei inele luminoase, măsurate între părțile cele mai strălucitoare ale orbitelor lor la distanța de șase picioare de la sticlă erau de 3, 4 1/6, 5 1/8 inch. Grosimea celeilalte sticle, fiind 1/4 inch, era față de grosimea acestei sticle în raportul 1/4 la 5/62, adică raportul 31/10 sau 310 000 000/100 000 000, iar rădăcinile acestor numere sînt 17 607 și 10 000. Diametrele inelelor luminoase formate în această observație de sticla cea mai subțire, anume 3, $4\frac{1}{6}$, $5\frac{1}{8}$, sînt față de diametrele acelorași inele formate în observația a 3-a de sticla mai groasă în raporturile $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$, cu alte cuvinte în același raport în care se află prima dintre aceste rădăcini către a doua, adică diametrele inelelor sînt invers proporționale cu rădăcina pătrată a grosimilor plăcilor de sticlă.

Așadar, în plăcile de sticlă, care sînt la fel de concave pe o față la fel de convexe pe cealaltă și la fel amalgamate pe fețele convexe și care nu diferă decît prin grosimile lor, diametrele inelelor sînt invers proporționale cu rădăcinile pătrate ale grosimilor plăcilor. Aceasta arată în mod suficient că inelele depind de ambele suprafețe ale sticlelor. Ele depind de suprafața convexă din cauză că sînt mai luminoase cînd acea suprafață este amalgamată decît atunci cînd nu este. Depind de asemenea și de suprafața concavă, pentru că fără această suprafață oglinda nu produce nici un inel. Ele depind de ambele suprafețe și de distanța dintre ele, deoarece mărimea inelelor variază prin schimbarea acestei distanțe. Această

dependență este de același fel cu cea pe care o au culorile plăcilor subțiri în raport cu distanța suprafeței acelor plăci, fiindcă mărimea inelelor, raportul dintre ele și variația mărimii lor provenită din variația grosimii sticlei și ordinea culorilor lor sînt astfel încît trebuie să rezulte din propozițiile de la sfîrșitul părții a treia a acestei cărți, derivate din fenomenele culorilor plăcilor subțiri, expuse în partea întîi.

Mai sînt și alte fenomene ale acestor inele colorate care rezultă din aceleași propoziții și deci confirmă atît adevărul acestor propoziții, cît și analogia găsită dintre aceste inele și inelele colorate formate de plăci foarte subțiri. Voi prezenta cîteva dintre ele.

Observația 10. Cînd fasciculul de lumină solară era reflectat de oglindă nu direct spre deschiderea din fereastră, ci spre un loc puțin depărtat de ea, centrul comun al acelei pete și al tuturor inelelor colorate cădea la jumătatea drumului dintre fasciculul de lumină incidentă și fasciculul de lumină reflectată și, în consecință, în centrul concavității sferice a oglinzii ori de cîte ori cartonul pe care cădeau inelele colorate era așezat în acel centru. Iar cînd fasciculul luminii reflectate se depărta tot mai mult de fasciculul de lumină incidentă și de centrul comun al inelelor colorate situat între ele prin înclinarea oglinzii, acele inele deveneau din ce în ce mai mari și la fel pata albă rotundă; din centrul lor comun se iveau succesiv noi inele colorate, iar pata albă devenea un inel alb care le înconjura și fasciculele incidente și reflectate cădeau totdeauna pe părțile opuse ale acestui inel alb, luminîndu-i perimetrul la fel ca două parhelii de părțile opuse ale unui curcubeu. În acest fel, diametrul acestui inel, măsurat de la mijlocul luminii sale de o parte pînă la mijlocul luminii sale de cealaltă parte, era totdeauna egal cu distanța dintre mijlocul fasciculului incident de lumină și mijlocul fasciculului reflectat, măsurată pe cartonul unde apăreau inelele. Iar razele care formau acest inel se reflectau pe oglindă sub unghiuri egale cu unghiurile lor de incidență și, în consecință, cu unghiurile lor de refracție la intrarea lor în sticlă, dar unghiurile lor de reflexie nu erau în același plan cu unghiurile lor de incidență.

Observația 11. Culorile noilor inele erau în ordine inversă cu ale celor precedente și se formau în modul următor. Pata albă rotundă de lumină din mijlocul inelelor rămîne albă spre centru pînă ce distanța dintre fasciculele incidente și reflectate pe carton era de vreo 7/8 inch și apoi mijlocul petei începea să se întunece. Iar cînd acea distanță era de aproape $1\frac{5}{16}$ inch, pata albă se schimba într-un inel ce înconjura o pată întunecoasă rotundă care la mijloc înclina

spre violet şi indigo. Inelele luminoase care o înconjurau erau acum egale cu cele întunecoase care în primele patru observaţii le înconjurau, adică pata albă a devenit un inel alb egal cu primul din inelele întunecoase, iar primul din inelele luminoase a devenit egal cu al doilea din cele întunecoase şi al doilea din cele luminoase egal cu al treilea din cele întunecoase şi aşa mai departe. Diametrele inelelor luminoase erau acum de $1\frac{3}{16}$, $2\frac{1}{16}$, $2\frac{2}{3}$, $3\frac{3}{20}$ inch.

Cînd distanţa dintre fasciculele de lumină incidente şi reflectate devenea ceva mai mare, din mijlocul petei întunecoase apărea după indigo un albastru, apoi din acel albastru un verde pal şi curînd după aceea un galben şi un roşu. Iar cînd culoarea centrului era mai strălucitoare, fiind între galben şi roşu, inelele luminoase erau egale cu inelele care în primele patru observaţii le înconjurau imediat, adică pata luminoasă din mijlocul acelor inele devenise acum un inel alb egal cu primul din inelele luminoase, iar primul din cele luminoase devenise acum egal cu al doilea dintre ele şi aşa mai departe. Diametrele inelului alb şi al celorlalte inele luminoase care-l înconjurau erau acum $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$, $3\frac{3}{8}$ etc. sau aveau valori apropiate.

Cînd distanţa celor două fascicule de lumină pe carton creştea ceva mai mult, din mijloc ieşeau pe rînd după roşu un purpuriu, un albastru, un verde, un galben şi un roşu înclinînd mult spre purpuriu, iar cînd culoarea era mai vie, fiind între galben şi roşu, culorile precedente indigo, albastru, verde, galben şi roşu formau un curcubeu sau un inel colorat egal cu primul dintre inelele luminoase care apăreau în primele patru observaţii, iar inelul alb care acum era al doilea din inelele luminoase devenea egal cu al doilea din ele, şi primul dintre ele care acum era al treilea inel devenea egal cu al treilea din ele şi aşa mai departe. Diametrele lor erau $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$, $3\frac{3}{8}$ inch, distanţa dintre cele două fascicule luminoase, iar diametrul inelului alb era de $2\frac{3}{8}$ inch.

Cînd aceste două fascicule deveneau mai distanţate unul faţă de altul, atunci ieşeau din mijlocul roşului purpuriu, mai întîi o pată rotundă mai întunecoasă, apoi din mijlocul acelei pete una mai luminoasă. Culorile precedente (purpuriu, albastru, verde, galben şi roşu purpuriu) formau un inel egal cu inelul luminos menţionat în primele patru observaţii, iar inelele din jurul acestuia deveneau

respectiv egale cu inelele care îl înconjurau pe primul, distanța dintre cele două fascicule luminoase și diametrul inelului alb (care acum devenise inelul al treilea) fiind de vreo 3 inch.

Culorile inelelor din mijloc începeau acum să slăbească mai mult și, dacă distanța dintre cele două fascicule creștea cu o jumătate de inch sau chiar cu un inch, ele dispăreau, pe cînd inelul alb împreună cu unul sau două inele alăturate din ambele părți continuau să fie vizibile. Dacă însă distanța dintre cele două fascicule de lumină creștea și mai mult, acestea de asemenea dispăreau, deoarece lumina care, venind din diferite părți ale deschiderii din fereastră, cădea pe oglindă sub diverse unghiuri de incidență producea inele de diferite mărimi, care slăbeau și se anihilau reciproc, după cum am constatat interceptînd anumite părți din acea lumină. Într-adevăr, dacă interceptam partea care era mai aproape de axa oglinzii inelele deveneau mai mici, iar dacă interceptam pe cele mai depărtate de axă deveneau mai mari.

Observația 12. Cînd culorile prismei cădeau succesiv pe oglindă, inelul care în ultimele două observații era alb, era în acest caz de aceeași mărime în toate culorile, însă inelele exterioare acestuia erau mai mari în verde decît în albastru și încă mai mari în galben, iar cele mai mari în roșu. Din contra, inelele din interiorul cercului alb erau mai mici în verde decît în albastru, încă și mai mici în galben și cele mai mici în roșu. Unghiurile de reflexie ale razelor care alcătuiau aceste inele fiind egale cu unghiurile lor de incidență, accesele fiecărei raze reflectate în interiorul sticlei sînt egale în lungime și număr cu accesele aceleiași raze în sticlă înaintea incidenței sale pe suprafața reflectatoare. În consecință, deoarece toate felurile de raze la intrarea lor în sticlă erau într-un acces de transmisie, ele erau într-un acces de transmisie și la întoarcerea lor la aceeași suprafață după reflexie, prin urmare erau transmise și mergeau la inelul alb de pe carton. Aceasta e cauza pentru care acel inel era de aceeași mărime în toate culorile și pentru care într-un amestec al tuturora apărea alb. Dar, în razele care se reflectă sub alte unghiuri, intervalele acceselor razelor mai puțin refrangibile, fiind cele mai mari, formează inelele, a căror culoare în înaintarea lor de la inelul alb, fie în exterior, fie în interior crește sau descrește în măsură mai mare, astfel că inelele de această culoare sînt în exterior cele mai mari, iar în interior cele mai mici. Aceasta este cauza pentru care în ultima observație, cînd oglinda era luminată cu lumină albă, inelele exterioare formate din toate culorile apăreau roșii înăuntru și albastru în afară, iar cele interioare albastre în afară și roșii înăuntru.

Acestea sînt fenomenele plăcilor de sticlă groase convex-concave, care au peste tot aceeaşi grosime. Apar însă şi alte fenomene, cînd aceste plăci sînt cu ceva mai groase într-o parte decît în alta, şi altele cînd plăcile sînt mai mult sau mai puţin concave decît convexe sau planconvexe ori dublu convexe, căci in toate aceste cazuri plăcile produc inele colorate, dar în moduri diferite, şi toate, după cum am observat pînă acum, rezultă din propoziţiile de la sfîrşitul părţii a treia a acestei cărţi şi astfel confirmă adevărul acelor propoziţii. Dar fenomenele sînt prea variate şi calculele prin care ele se deduc din acele propoziţii prea complicate pentru a fi descrise aici. Eu mă mulţumesc de a fi expus acest gen de fenomene şi a le descoperi cauza şi prin descoperirea ei să confirm propoziţiile din partea a treia a acestei cărţi.

Observaţia 13. După cum lumina reflectată de o lentilă amalgamată pe dos formează inelele colorate descrise mai sus, tot aşa trebuie să producă inele asemănătoare colorate la trecerea printr-o picătură de apă. La prima reflexie a razei în interiorul picăturii trebuie să fie transmise anumite culori ca şi în cazul unei lentile, iar altele să se reflecte înapoi la ochi. De exemplu diametrul unei picături mici sau a unei globule de apă este cam de a 500-a parte dintr-un inch, astfel încît o rază roşie în trecerea ei prin mijlocul acestei globule are 250 accese de uşoară transmisie în interiorul acestei globule, toate razele producătoare de roşu care la o anumită distanţă înconjură această rază mijlocie de jur împrejur au 249 de accese în interiorul globulei şi toate razele asemănătoare din jurul ei la o anumită distanţă mai mare au 248 de accese, iar toate razele de acelaşi fel la o anumită distanţă şi mai mare au 247 de accese şi aşa mai departe. Aceste cercuri concentrice de raze după transmisia lor, căzînd pe o hîrtie albă, vor forma pe hîrtie cercuri concentrice roşii, presupunînd că lumina care trece printr-o singură globulă este destul de intensă pentru a putea fi observată. La fel, razele de alte culori vor forma inele de alte culori. Să presupunem acum că într-o zi frumoasă Soarele străluceşte printr-un nor subţire de astfel de globule de apă sau de grindină şi că toate globulele au aceeaşi mărime, iar Soarele văzut prin acest nor va apărea înconjurat de inele concentrice colorate şi diametrul primului inel roşu va fi de $7\frac{1}{4}$ grade, al doilea de $10\frac{1}{4}$ grade, al treilea de 12 grade 33 de minute. După cum globulele de apă sînt mai mari sau mai mici, inelele vor fi mai mici sau mai mari. Aceasta este teoria, iar experienţa o confirmă într-adevăr. În iunie

1692 am văzut prin reflexie într-un vas cu apă stătătoare trei halouri, coroane sau inele colorate în jurul Soarelui, asemănătoare cu trei mici curcubee concentrice Soarelui. Culorile primei coroane sau ale coroanei interioare erau cel mai aproape de Soare, roşul în afară şi albul în mijloc între albastru şi roşu. Culorile coroanei a doua erau purpuriul şi albastrul în interior, roşul pal în exterior, iar albastrul în mijloc. Cele al coroanei a treia erau albastrul-pal în interior şi roşul-pal în exterior; aceste culori se înconjurau imediat una pe alta, astfel încît culorile lor de la Soare în afară erau aranjate în următoarea ordine continuă : albastru, alb, roşu ; purpuriu, albastru, verde, galben-pal, roşu ; albastru-pal, roşu-pal. Diametrul coroanei a doua, măsurat de la mijlocul galbenului şi roşului de la o margine a Soarelui către mijlocul aceleiaşi culori din cealaltă margine, era de $9 \frac{1}{3}$ grade sau o valoare apropiată. Nu am avut timp să măsor diametrele primei şi a celei de-a treia coroane dar diametrul celei dintîi părea să fie de cinci sau şase grade, iar a celei de-a treia de vreo douăsprezece. Coroane asemănătoare apar uneori în jurul Lunii. La începutul anului 1664, în noaptea de 19 februarie, am observat în jurul ei două coroane de acest fel. Diametrul primei, sau celei mai din interior, era de vreo trei grade, iar al celei de-a doua de aproximativ cinci grade şi jumătate. Imediat în jurul Lunii era un cerc alb şi îndată după el apărea coroana interioară, care înăuntru era de un verde-albăstrui imediat lîngă alb, iar în afară de un galben şi roşu; în jurul acestor culori urma imediat albastru şi verde pe partea dinăuntru a coroanei exterioare şi roşu pe cea din afară. În acelaşi timp apărea un halou la o distanţă de vreo 22° 35′ de centrul Lunii. El era eliptic şi diametrul său cel mare era perpendicular pe orizont, partea de jos fiind cea mai depărtată de Lună. Am auzit spunîndu-se că Luna are cîteodată trei sau mai multe coroane concentrice colorate, înconjurîndu-se una pe cealaltă strîns în jurul Lunii. Cu cît sînt mai egale între ele globulele de apă sau de gheaţă, cu atît vor apărea mai multe coroane colorate şi culorile lor vor fi mai strălucitoare. Haloul care apare la distanţa de $22 \frac{1}{2}$ grade de la Lună este de altă natură. Din faptul că el era oval şi mai depărtat de Lună în partea de jos decît în cea de sus, eu deduc că el era produs prin refracţia într-un fel de grindină sau de zăpadă ce plutea orizontal în aer, unghiul de refracţie fiind de aproximativ 58 sau 60 de grade.

Cartea a treia
a
OPTICII

PARTEA I

Observații privitoare la inflexiunile razelor de lumină și culorile produse în acest fel.

Grimaldi ne-a informat că, dacă un fascicul de lumină solară pătrunde într-o cameră întunecoasă printr-o deschidere foarte mică, umbrele corpurilor expuse în acestă lumină sînt mai mari decît ar trebui să fie dacă razele ar trece pe lîngă corpuri în linii drepte și că aceste umbre sînt mărginite de trei chenare, benzi sau fîșii paralele de lumină colorată. Dacă însă deschiderea se lărgește, chenarele se dilată și se amestecă între ele, astfel încît nu mai pot fi distinse. Unii au atribuit aceste umbre întinse și chenare refracției obișnuite a aerului, fără a examina suficient problema. Căci, atît cît am putut observa, condițiile în care apare fenomenul sînt următoarele.

Observația 1. Într-o placă de plumb am făcut cu ajutorul unui cui subțire un mic orificiu, a cărui lărgime era de $\frac{1}{42}$ inch. Într-adevăr, 21 de astfel de cuie puse unul lîngă altul ocupau lărgimea de o jumătate de inch. Prin acest orificiu am lăsat să intre în camera mea întunecată un fascicul de lumină solară și am găsit că umbrele firelor de păr, ale sîrmelor, acelor, paielor și ale altor obiecte asemănătoare subțiri plasate în fasciculul de lumină deveneau considerabil mai late decît ar fi trebuit să fie dacă razele de lumină ar fi trecut pe lîngă aceste corpuri în linie dreaptă. În particular, un fir de păr din capul unui om, a cărui grosime nu era decît $\frac{1}{280}$ inch, fiind ținut în această lumină la o distanță de vreo 12 picioare de orificiu, arunca o umbră care la o distanță de patru inch de fir avea o lățime

de $\frac{1}{60}$ inch, adică era mai bine de patru ori mai lată decît firul, iar la o distanță de două picioare de fir avea o lățime de vreo $\frac{1}{28}$ inch, adică era de zece ori mai lată decît firul, și la o distanță de zece picioare avea lățime de $\frac{1}{8}$ inch, adică era de 35 de ori mai lată.

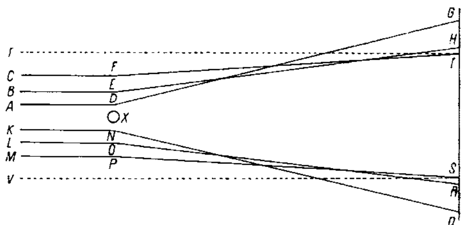


Fig. 1

Nu este esențial ca firul de păr să fie înconjurat de aer sau de orice altă substanță transparentă. Udînd o placă de sticlă șlefuită și așezînd firul de păr în apa de pe sticlă și apoi punînd pe ea o altă placă de sticlă în așa fel ca apa să umple spațiul dintre sticle, le-am ținut în fasciculul de lumină de mai înainte, astfel încît lumina să poată trece perpendicular prin ele, și umbra firului la aceeași distanță era tot atît de mare ca mai înainte. Umbrele zgîrieturilor făcute pe plăcile de sticlă erau de asemenea cu mult mai late decît trebuiau să fie și vinele de pe plăcile de sticlă de asemenea aruncau umbre la fel de late. În consecință, lărgimea mare a acestor umbre provine din alte cauze decît refracția aerului.

Să considerăm că cercul *X* (fig. 1) se află la mijlocul firului de păr, iar *ADG*, *BEH*, *CFI* sînt trei raze ce trec de o parte a firului de păr la diferite distanțe, *KNQ*, *LOR*, *MPS* alte trei raze ce trec de cealaltă parte a firului la distanțe egale, *D*, *E*, *F* și *N*, *O*, *P* trei

locuri în care razele se îndoaie în trecerea lor pe lîngă fir, *G*, *H*, *I* şi *Q*, *R*, *S* locurile unde razele cad pe hîrtia *GQ*, *IS* lăţimea umbrei firului de păr aruncată pe hîrtie, iar *TI*, *VS* două raze ce trec prin punctele *I* şi *S* fără a se îndoi atunci cînd firul este îndepărtat. Este evident că toată lumina cuprinsă între razele *TI* şi *VS* se îndoaie în trecerea ei pe lîngă firul de păr şi se abate de la umbra *IS*, căci, dacă nu s-ar îndoi fiecare parte a acestei lumini, atunci ea ar cădea pe hîrtie în interiorul umbrei şi acolo ar lumina hîrtia, ceea ce e contrar experienţei. Din cauză că, în momentul cînd hîrtia este la o mare distanţă de firul de păr, umbra este lată şi, prin urmare, razele *TI* şi *VS* sînt la o mare depărtare una de cealaltă, urmează că firul acţionează la o mare distanţă asupra razelor de lumină la trecerea lor pe lîngă el. Acţiunea este însă mai intensă asupra razelor care trec la distanţe mai mici şi devine din ce în ce mai slabă pentru razele care trec la distanţe din ce în ce mai mari, aşa cum s-a reprezentat pe figură. Într-adevăr, de aici rezultă că umbra firului de păr este cu mult mai largă în raport cu distanţa hîrtiei de la fir, cînd hîrtia este mai aproape de fir decît cînd ea se află la o distanţă mai mare de el.

Observaţia 2. Umbra tuturor corpurilor (metal, piatră, sticlă, lemn, corn, gheaţă etc.) era mărginită de trei chenare sau benzi paralele de lumină colorată, dintre care aceea care atingea umbra era cea mai lată şi mai luminoasă, iar cea mai îndepărtată de ea era cea mai îngustă şi mai slabă şi abia se putea vedea. Culorile se distingeau cu greu şi numai dacă lumina cădea foarte oblic pe o hîrtie lucioasă sau pe vreun alt corp alb lucios, încît să le facă să apară mai largi decît ar fi părut altfel. Atunci culorile se vedeau clar în ordinea următoare : primul chenar sau cel mai dinăuntru era violet şi albastru-închis imediat lîngă umbră, apoi albastru clar, verde şi galben la mijloc şi roşu în exterior. Chenarul al doilea era aproape în contact cu primul, iar al treilea cu al doilea şi amîndouă erau albastre în interior, galbene şi roşii în exterior, dar culorile lor erau foarte slabe, în special ale celui de-al treilea. Prin urmare, culorile erau în ordinea începînd de la umbră : violet, indigo, albastru-pal, verde, galben, roşu ; albastru, galben, roşu ; albastru-pal, galben-pal şi roşu. Umbrele proiectate de zgîrieturi şi bulele din plăcile netede de sticlă erau mărginite de chenare asemănătoare de lumină colorată. Dacă plăcile de oglindă tăiate oblic la margini cu un diamant sînt ţinute în acelaşi fascicul luminos, lumina care trece prin planele paralele ale sticlei va fi mărginită de chenare colorate asemănătoare, acolo unde aceste plane întîlnesc tăieturile de la margine şi în felul acesta vor apărea

uneori patru sau cinci chenare colorate. Fie *AB*, *CD* (fig. 2) planele paralele ale unei oglinzi, iar *BD* planul tăieturii care face un unghi obtuz în *B* cu planul *AB*. Dacă toată lumina dintre razele *ENI* şi *FBM* trece direct prin planele paralele ale sticlei şi cade pe hîrtie între *I* şi *M*, atunci întreaga lumină dintre razele *GO* şi *HD* se va refracta prin planul tăieturii *BD* de la margine şi va cădea pe hîrtie

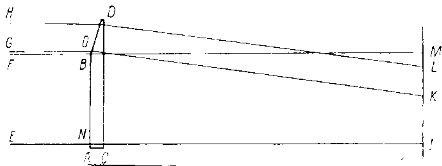


Fig. 2

între *K* şi *L*, iar lumina care trece direct prin planele paralele ale sticlei şi cade pe hîrtie între *I* şi *N*, va fi mărginită în *M* de trei sau de mai multe chenare.

Astfel, privind Soarele printr-o pană sau panglică neagră ţinută foarte aproape de ochi, vor apărea mai multe curcubee, umbrele pe care le proiectează fibrele sau firele pe *tunica retina* fiind mărginită de chenare colorate asemănătoare.

Observaţia 3. Am măsurat lăţimea umbrei şi a chenarelor cît am putut de precis pînă la fracţiuni de inch, după cum se vede în tabela de mai jos, în momentul cînd firul de păr era la 12 picioare distanţă de orificiu, iar umbra lui cădea oblic pe o scală plată albă gradată în inch şi fracţiuni de inch plasată la o jumătate de picior în spatele lui şi de asemenea cînd umbra cădea perpendicular pe aceeaşi scală situată la 9 picioare în spatele lui.

Am făcut aceste măsurători lăsînd să cadă umbra firului de păr, la o distanţă de o jumătate de picior, atît de oblic pe scală încît să apară de 12 ori mai largă decît atunci cînd cădea perpendicular pe ea la aceeaşi distanţă şi am introdus în această tabelă a douăsprezecea parte a măsurilor luate.

Observaţia 4. Cînd umbra şi chenarele cădeau oblic pe un corp alb neted şi acesta se îndepărta tot mai mult de firul de păr, primul

La distanța de	jumătate de picior	Nouă picioare
Lățimea umbrei	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{9}$
Lățimea spațiului dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarelor din interior și ambele laturi ale umbrei	$\frac{1}{38}$ sau $\frac{1}{39}$	$\frac{7}{50}$
Lățimea spațiului dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarelor mijlocii și cele două laturi ale umbrei	$\frac{1}{23\frac{1}{2}}$	$\frac{4}{17}$
Lățimea spațiului dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarelor din exterior și cele două laturi ale umbrei	$\frac{1}{18}$ sau $\frac{1}{18\frac{1}{2}}$	$\frac{3}{10}$
Distanța dintre mijlocul luminii celei mai intense a primului chenar și al celui de al doilea	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{21}$
Distanța dintre mijlocul celei mai intense lumini a chenarului al doilea și al treilea	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{31}$
Lățimea părții luminoase (verde, alb, galben și roșu) a primului chenar	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{32}$
Lățimea spațiului mai întunecos dintre primul chenar și al doilea	$\frac{1}{240}$	$\frac{1}{45}$
Lățimea părții luminoase a chenarului al doilea	$\frac{1}{290}$	$\frac{1}{55}$
Lățimea spațiului mai întunecos dintre chenarul al doilea și al treilea	$\frac{1}{340}$	$\frac{1}{63}$

chenar începea să se ivească și să apară mai luminos decît restul luminii la o distanță mai mică de un sfert de inch de fir, iar linia întunecoasă sau umbra între acel chenar și chenarul al doilea începea să apară la o distanță de fir mai mică de o treime de inch. Al doilea chenar începea să apară la o distanță de fir mai mică de

o jumătate de inch şi umbra dintre acesta şi al treilea chenar la o distanţă mai mică de un inch, iar al treilea chenar la o distanţă mai mică de trei inch. La distanţe mai mari ele deveneau cu mult mai sensibile, dar păstrau aproximativ acelaşi raport între lărgimile şi intervalele lor pe care l-au avut la prima lor apariţie. Într-adevăr, distanţa dintre mijlocul primului chenar şi mijlocul celui de-al doilea era faţă de distanţa dintre mijlocul chenarului al doilea şi al treilea în raportul 3/2 sau 10/7. Ultima din aceste două distanţe era egală cu lărgimea luminii intense sau a părţii luminoase a primului chenar. Această lărgime era faţă de lărgimea luminii intense a chenarului al doilea în raportul 7/4 şi faţă de intervalul întunecos dintre primul chenar şi al doilea în raportul 3/2, iar faţă de intervalul întunecos asemănător dintre al doilea şi al treilea ca 2/1. Lărgimea chenarelor părea să fie în progresia numerelor 1, $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{5}}$, iar intervalele lor în aceeaşi progresie, adică chenarele împreună cu intervalele lor erau în progresia continuă an numerelor 1, $\sqrt{\frac{1}{2}}$, $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{4}}$, $\sqrt{\frac{1}{5}}$ sau aveau valori apropiate. Aceste proporţii se menţineau aproape aceleaşi la toate distanţele faţă de fir, intervalele întunecoase dintre chenare fiind tot atît de largi în raport cu lăţimea chenarelor la prima lor apariţie ca şi mai tîrziu la distanţe mari de fir, deşi nu erau atît de întunecoase şi distincte.

Observaţia 5. Soarele strălucind în camera mea întunecată printr-o deschidere largă de un sfert de inch, am aşezat la o distanţă de două sau trei picioare de deschidere o coală de carton înnegrită peste tot pe ambele feţe, care în mijloc avea un orificiu de vreo trei sferturi de inch pătraţi pentru ca lumina să treacă prin ea. În spatele orificiului am fixat pe carton cu smoală lama unui cuţit ascuţit, pentru ca să intercepteze o parte din lumina care străbătea prin orificiu. Planele cartonului şi a lamei de cuţit erau paralele între ele şi perpendiculare pe raze. Cînd acestea erau plasate în aşa fel că nici o parte din lumina solară nu cădea pe carton, ci toată trecea prin orificiu spre cuţit, o parte din ea cădea pe tăişul cuţitului, iar cealaltă trecea pe lîngă tăişul lui; am lăsat această parte a luminii care trecea să cadă pe o hîrtie albă la trei sau patru picioare în spatele cuţitului şi acolo am văzut două fascicule de lumină slabă răspîndindu-se de ambele părţi ale fasciculului de umbră, la fel ca cozile cometelor. Însă, din cauza strălucirii luminii directe a Soarelui pe hîrtie, aceste fascicule slabe

erau eclipsate, așa că abia le puteam vedea; am făcut un mic orificiu în mijlocul hîrtiei pentru ca lumina să treacă prin ea și să cadă pe o pînză neagră în spatele ei și astfel am văzut clar cele două fascicule. Ele se asemănau unul cu altul și erau aproape egale în lungime, lățime și în cantitatea de lumină. Lumina lor la capătul învecinat cu lumina directă a Soarelui era destul de intensă pe o lățime de aproximativ un sfert sau vreo jumătate de inch și, pe măsură ce se îndepărtau de la lumina directă, descreștea treptat pînă cînd devenea imperceptibilă. Întreaga lungime a fiecăreia dintre aceste două fascicule măsurate pe hîrtie la o distanță de trei picioare de cuțit era de vreo șase sau opt inch, astfel că la tăișul cuțitului subîntindea un unghi de aproximativ 10 sau 12 sau cel mult 14 grade. Totuși uneori mi s-a părut că se întindea cu trei sau patru grade mai departe, dar cu o lumină atît de slabă, încît rareori am putut-o observa și bănuiam că ea poate proveni (cel puțin într-o anumită măsură) din vreo altă cauză decît de la cele două fascicule. Așezîndu-mă cu ochiul în acea lumină dincolo de capătul fasciculului care era în spatele cuțitului și privind spre cuțit, am putut vedea pe tăișul lui o linie de lumină, și aceasta nu numai cînd ochiul era pe linia fasciculului, ci și cînd era în afara acelei linii către vîrful cuțitului sau către mînerul lui. Această linie de lumină apărea în vecinătatea imediată a cuțitului și era mai îngustă decît linia chenarului interior și mai îngustă cînd ochiul meu era mai depărtat de lumina directă și de aceea părea să treacă printre lumina acelui chenar și tăișul cuțitului, iar cea care trecea mai aproape de tăiș părea a fi mai mult îndoită, deși nu toată.

Observația 6. Am așezat un alt cuțit lîngă acesta în așa fel ca tăișurile lor să fie paralele și față în față unul cu celălalt, astfel ca fasciculul de lumină să poată cădea pe ambele cuțite și o parte din el să treacă printre tăișuri. Cînd distanța dintre tăișurile lor era cam de $\frac{1}{400}$ inch, fasciculul se despărțea la mijloc și lăsa o umbră între cele două părți. Umbra era atît de neagră și de întunecoasă, încît toată lumina ce trecea printre cuțite părea îndoită spre o latură sau spre alta. Iar cînd cuțitele se apropiau mai mult unul de altul, umbra se lățea și fasciculele erau mai scurte la capătul lor interior vecin cu umbra, pînă cînd în momentul contactului cuțitelor întreaga lumină dispărea, lăsînd locul umbrei.

De aici trag concluzia că lumina care e mai puțin curbată și merge spre extremitățile interioare ale fasciculelor trece pe lîngă

tăişurile cuţitelor la cea mai mare distanţă, iar această. distanţă, cînd începe să apară umbra printre fascicule, este de aproximativ $\frac{1}{800}$ inch. Lumina care trece pe lîngă tăişurile cuţitelor la distanţe din ce în ce mai mici se îndoaie din ce în ce mai mult şi merge spre acele părţi ale fasciculelor care se depărtează tot mai mult de lumina directă, deoarece, atunci cînd cuţitele se apropie pînă ce se ating, acele părţi ale fasciculelor care sînt mai departe de lumina directă dispar ultimele.

Observaţia 7. În observaţia a 5-a chenarele nu apăreau, ci din cauza lăţimii deschiderii din fereastră deveneau atît de largi, încît pătrundeau una într-alta şi, unindu-se, formau o lumină continuă la începutul fasciculelor. În observaţia a şasea însă, pe măsură ce cuţitele se apropiau unul de altul, cu puţin înainte ca să apară umbra între cele două fascicule începeau să se ivească chenarele la capetele interioare ale fasciculelor de cele două părţi ale luminii directe: trei la o latură formată de tăişul unui cuţit, iar trei la cealaltă latură formată de tăişul celuilalt cuţit. Ele erau cu atît mai distincte, cu cît cuţitele erau plasate la mai mare distanţă de orificiul din fereastră şi deveneau şi mai distincte făcînd deschiderea mai mică, astfel că uneori putem vedea linia slabă a unui al patrulea chenar dincolo de cele trei menţionate mai sus. Pe măsură ce cuţitele continuau să se apropie unul de altul, chenarele deveneau tot mai distincte şi mai largi, pînă cînd dispăreau. Chenarul exterior dispărea primul, apoi cel din mijloc, iar cel din interior ultimul. După ce dispăreau toate, iar linia de lumină ce se afla în mijloc între ele devenea foarte lată, răspîndindu-se de ambele laturi în fasciculele de lumină descrise în observaţia a 5-a, umbra sus-amintită începea să apară în mijlocul acestei linii, împărţind-o de-a lungul lungimii ei în două linii luminoase şi crescînd pînă cînd dispărea întreaga lumină. Lăţimea chenarelor era atît de mare, încît razele care pătrundeau pînă la chenarul interior păreau de douăzeci de ori mai curbate în momentul cînd acest chenar era gata să dispară, şi aceasta cînd unul din cuţite era înlăturat.

Din această observaţie, comparată cu cea precedentă, am tras concluzia că lumina primului chenar trecea pe lîngă tăişul cuţitului la o distanţă mai mare de $\frac{1}{800}$ inch, iar lumina chenarului al doilea trecea pe lîngă tăişul cuţitului la o distanţă mai mare decît lumina primului chenar şi a celui de-al treilea la o distanţă

mai mare decît a celui de al doilea, iar cea a fasciculelor de lumină descrise în observațiile a 5-a și a 6-a trecea pe lîngă tăișurile cuțitelor la distanțe mai mici decît aceea a oricărui chenar.

Observația 8. Am ascuțit două cuțite astfel ca tăișurile lor să fie foarte drepte și, înfingînd vîrfurile lor într-o scîndură în așa fel ca tăișurile lor să fie față în față și întîlnindu-se aproape de vîrfurile lor să facă un unghi drept, le-am fixat mînerele laolaltă cu păcură pentru a face acest unghi invariabil. Distanța dintre tăișurile cuțitelor la o depărtare de patru inch la vîrful unghiului unde se întîlneau tăișurile cuțitelor era de o optime de inch și deci unghiul cuprins de tăișuri era de vreo 54 de grade. Cuțitele astfel fixate împreună le-am așezat într-un fascicul de lumină solară care intra în camera mea întunecoasă printr-o deschidere de $\frac{1}{42}$ inch la o distanță de 10 sau 12 picioare de deschidere. Am lăsat ca lumina care trecea printre tăișurile lor să cadă foarte oblic pe o riglă albă întinsă la o distanță de jumătate de inch sau de un inch de cuțite, și acolo am văzut chenarele produse de cele două tăișuri mergînd de-a lungul marginilor umbrelor cuțitelor în linii paralele cu acele margini fără să se lățească sensibil, pînă ce se întîlneau sub unghiuri egale cu unghiul cuprins de tăișurile cuțitelor; acolo unde se întîlneau și se uneau, se terminau fără a se încrucișa. Dacă însă rigla era ținută la o depărtare mai mare de cuțite, chenarele care erau mai depărtate de locul întîlnirii lor erau puțin mai înguste și deveneau treptat tot mai largi pe măsură ce se apropiau unul de altul și, după ce se întîlneau, se încrucișau și apoi deveneau cu mult mai late decît înainte.

De aici deduc că distanțele la care trec chenarele pe lîngă cuțite nu sînt nici mărite, nici modificate de apropierea cuțitelor, ci numai unghiurile de îndoire ale razelor cresc mult prin această apropiere; cuțitul care e mai aproape de rază determină încotro se va curba raza, iar celălalt cuțit mărește curbarea.

Observația 9. Cînd razele cădeau foarte oblic pe riglă la o distanță de o treime de inch de cuțite, linia întunecoasă dintre primul și al doilea chenar de umbră al unui cuțit și linia întunecoasă dintre primul și al doilea chenar de umbră al celui de-al doilea cuțit se întîlneau la distanța de o cincime de inch de extremitatea luminii care trecea printre cuțite la locul lor de contact. Prin urmare, distanța dintre tăișurile cuțitelor la întîlnirea acestor linii obscure era de $\frac{1}{160}$ inch. Căci o lungime oarecare a tăișurilor cuțitelor

măsurată de la punctul lor de întîlnire, raportată la distanța dintre tăișurile cuțitelor la capătul acelei lungimi, este în același raport ca 4 la $\frac{1}{8}$ inch, adică cum ar fi $\frac{1}{5}$ la $\frac{1}{160}$ inch. Astfel deci liniile negre menționate mai sus se întîlnesc la mijlocul luminii ce trece printre cuțite acolo unde acestea se află la distanța de $\frac{1}{160}$ inch și o jumătate din acea lumină trece pe lîngă tăișul unui cuțit la o distanță ce nu depășește $\frac{1}{320}$ inch și, căzînd pe hîrtie, produce chenarele de umbră ale acelui cuțit, iar cealaltă jumătate trece pe lîngă tăișul celuilalt cuțit la o distanță nu mai mare de $\frac{1}{320}$ inch și, căzînd pe hîrtie, produce chenarele de umbră ale celuilalt cuțit. Dar, dacă ținem hîrtia la o distanță de cuțite mai mare de o treime de inch, liniile întunecoase amintite mai sus se întîlnesc la o distanță mai mare de o cincime de inch de extremitatea luminii ce trece printre cuțite în locul de întîlnire al tăișurilor lor. Prin urmare, lumina care cade pe hîrtie în locul unde aceste linii se întîlnesc trece printre cuțite în locul unde tăișurile se află la o distanță mai mare de $\frac{1}{160}$ inch.

Într-adevăr, altă dată cînd cele două cuțite erau la o distanță de opt picioare și cinci inch de mica deschidere din fereastră făcută ca mai sus cu un mic ac, lumina care cădea pe hîrtie în locul unde se întîlneau liniile întunecoase trecea printre cuțite acolo unde distanța dintre tăișurile lor era ca în tabela de mai jos, iar distanța de la hîrtie la cuțite era de asemenea după cum urmează (v. pag. 210).

De aici deduc că lumina care produce chenarele pe hîrtie nu este aceeași lumină pentru toate distanțele de la hîrtie la cuțite, căci, atunci cînd hîrtia este ținută mai aproape de cuțite, chenarele sînt formate de lumina ce trece pe lîngă tăișurile cuțitelor la o distanță mai mică și este mai curbată decît atunci cînd hîrtia se ține la o distanță mai mare de cuțite.

Observația 10. Cînd chenarele de umbră ale cuțitelor cădeau perpendicular pe hîrtie la o distanță mare de cuțite, ela aveau forma de hiperbole și dimensiunile lor erau următoarele. Să considerăm că CA și CB (fig. 3) reprezintă liniile trasate pe hîrtie paralel cu tăișurile cuțitelor, printre care ar cădea toată lumina dacă ar trece

Distanța de la hîrtie la cuțite, exprimată în inch	Distanța dintre tăișurile cuțitelor, exprimată în miimi de inch
$1\frac{1}{2}$	0,012
$3\frac{1}{3}$	0,020
$8\frac{3}{5}$	0,034
32	0,057
96	0,081
131	0,087

printre tăişurile cuțitelor fără inflexiune*; *DE* este o linie dreaptă care, dusă prin *C*, face unghiurile *ACD*, *BCE* egale între ele şi limitează întreaga lumină ce cade pe hîrtie de la punctul în care se întîlnesc tăişurile cuțitelor; *eis*, *fkt*, şi *glv* sînt trei linii hiperbolice

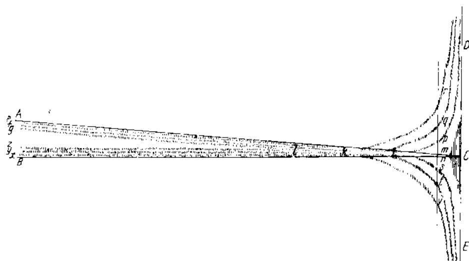


Fig. 3

* Denumire întrebuințată de Newton pentru difracție.

reprezentînd extremitatea umbrei unui cuţit, linia obscură dintre primul chenar şi al doilea al acelei umbre şi linia obscură dintre chenarul al doilea şi al treilea ale aceleiaşi umbre; *xip*, *ykq*, şi *zir* alte trei linii hiperbolice, reprezentînd extremitatea umbrei celuilalt cuţit, linia obscură dintre primul chenar şi al doilea al acelei umbre şi linia obscură dintre chenarul al doilea şi al treilea al aceleiaşi umbre. Imaginaţi-vă că aceste trei hiperbole sînt asemenea şi egale cu precedentele trei, pe care le taie în punctele *i*, *k* şi *l*, şi că umbrele cuţitelor sînt limitate şi distincte de primele chenare prin liniile *eis* şi *xip* pînă la întîlnirea şi încrucişarea chenarelor şi apoi acele linii încrucişează chenarele sub forma de linii negre, mărginind latura interioară a primelor chenare şi distingîndu-le de o altă lumină care începe să apară în *i* şi luminează întreg spaţiul triunghiular *ipDEs* cuprins de aceste linii negre şi de linia dreaptă *DE*. O asimptotă a acestei hiperbole este linia *DE*, iar celelalte asimtote sînt paralele cu liniile *CA* şi *CB*. Fia *rv* o linie trasată undeva pe hîrtie paralelă cu asimptota *DE* şi tăind linia dreaptă *AC* în *m*, pe *BC* în *n*, iar cele şase linii hiperbolice în *p*, *q*, *r*, *s*, *t*, *v*; măsurînd distanţele *ps*, *qt*, *rv*, apoi aducînd lungimile ordonatelor *np*, *nq*, *nr* sau *ms*, *mt*, *mv* şi făcînd aceasta la diferite distanţe ale liniei *rv* de asimptota *DE*, veţi putea găsi atîtea puncte ale acestor hiperbole cîte doriţi şi de acolo să recunoaşteţi că aceste linii curbe sînt hiperbole care diferă puţin de hiperbolele conice. Apoi, măsurînd liniile *Ci*, *Ck*, *Cl*, veţi putea găsi alte puncte ale acestor curbe.

De exemplu, cînd cuţitele se aflau la o distanţă de zece picioare de deschiderea din fereastră, hîrtia la nouă picioare de cuţite, iar unghiul cuprins de tăişurile cuţitelor cu care unghiul *ACB* este egal era subîntins de o coardă ce se raporta la rază în raportul 1/32, iar distanţa liniei *rv* de asimptota *DE* era de o jumătate de inch, am măsurat liniile *ps*, *qt*, *rv* şi am găsit că ele sînt respectiv de 0,35; 0,65; 0,98 inch şi, adăugînd la jumătăţile lor linia $\frac{mn}{2}$ (care aici era de $\frac{1}{128}$ sau 0,0078 inch), sumele *np*, *nq*, *nr* erau de 0,1828; 0,3328; 0,4978 inch. Am măsurat şi distanţele părţilor celor mai luminoase ale chenarelor care se întindeau între *pq* şi *st*, *qr* şi *tv* şi imediat dincolo de *r* şi *v* şi am aflat că ele sînt de 0,5; 0,8 şi 1,17 inch.

Observaţia 11. În timp ce Soarele lumina în camera mea întunecată printr-un mic orificiu făcut dintr-o placă de plumb cu un ac subţire ca mai sus, am plasat în dreptul acestui orificiu o prismă

ca să reflecte lumina și să formeze pe peretele opus spectrul colorat descris în experiența a 3-a a primei părți a cărții întîi. Atunci am constatat că umbrele tuturor corpurilor ținute în lumina colorată dintre prismă și perete erau mărginite de chenare de culoarea luminii în care aceste corpuri erau expuse. În lumina roșie-închisă ele erau cu totul roșii, fără nici un albastru sau violet sesizabil, iar în lumina albastră-închisă erau complet albastre, fără nici un roșu sau galben sesizabil; la fel în lumină verde erau cu totul verzi, exceptînd puțin galben și albastru, care erau amestecate în lumina verde a prismei. Comparînd chenarele formate în diferitele lumini colorate, am găsit că cele formate în lumina roșie erau cele mai late, cele formate în violet cele mai înguste, iar cele în verde erau de o mărime mijlocie. Într-adevăr, chenarele cu care era mărginită umbra unui fir de păr omenesc, fiind măsurate transversal pe umbră la distanța de șase inch de fir, distanța dintre partea mijlocie și cea mai luminoasă a primului chenar sau cel mai interior de o parte a umbrei și cea a chenarului asemănător de cealaltă parte a umbrei era în lumina roșie-închisă de $\frac{1}{37\ 1/2}$ inch, iar în violet-închis de $\frac{1}{46}$. Distanța corespunzătoare dintre părțile de mijloc și cele mai luminoase ale chenarelor de ordinul al doilea de ambele părți ale umbrei era în lumină roșie-închisă de $\frac{1}{22}$, iar în violet de $\frac{1}{27}$ inch. Aceste distanțe ale chenarelor păstrau aceleași proporții la orice depărtare de la firul de păr fără nici o variație sensibilă.

Așadar, razele care formau chenare în lumina roșie treceau pe lîngă fir la o distanță mai mare decît cele care produceau chenarele asemănătoare în violet; prin urmare, firul care cauza aceste chenare acționa la fel asupra luminii roșii sau a razelor celor mai puțin refrangibile la o distanță mai mare, ca și asupra violetului sau a razelor mai refrangibile la o distanță mai mică; prin această acțiune dispunea lumina roșie în chenare mai late, violetul în chenare mai înguste și lumina de culori intermediare în chenare de mărimi intermediare, fără a schimba culoarea nici unui fel de lumină.

Prin urmare, cînd în prima și a doua din aceste observații firul de păr era ținut în fasciculul de lumină albă solară, arunca o umbră înconjurată de trei chenare de lumină colorată; acele culori nu proveneau din vreo nouă modificare imprimată razelor de lumină de către fir, ci numai de la inflexiunile diferite prin care se separau una de cealaltă diferitele feluri de lumină, care înainte de separare

compuneau prin amestecul tuturor culorilor lor, fasciculul alb de lumină solară, dar cînd erau separate constituiau luminile diferitelor culori pe care inițial le aveau. În observația a 11-a, unde culorile erau separate înainte ca lumina să treacă pe lîngă fir, razele cele mai puțin refrangibile, care la separarea lor de rest produceau roșul, erau curbate la o distanță mai mare de fir, astfel că formau trei chenare roșii la o mai mare distanță de mijlocul umbrei firului; razele cele mai refrangibile, care prin separare formau violetul, se îndoiau la o distanță mai mică de fir, astfel că produceau trei chenare violete la o distanță mai mică de umbra firului. Alte raze cu grade de refrangibilitate intermediare erau curbate la distanțe intermediare de fir, astfel încît dădeau naștere la chenare de culori intermediare la distanțe intermediare de mijlocul umbrei firului. În observația a 2-a, unde în lumina albă care trece pe lîngă fir sînt amestecate toate culorile, aceste culori se separau prin inflexiunile variate ale razelor și chenarele pe care le generează fiecare dintre aceste culori par toate împreună, iar chenarele interioare, fiind învecinate, alcătuiesc un chenar lat compus din toate culorile în ordinea lor naturală: violetul în interiorul chenarului imediat de lîngă umbră, roșul în afară mai departe de umbră, iar albastrul, verdele și galbenul în mijloc. În mod similar, chenarele din mijloc ale tuturor culorilor, așezate în ordine și fiind vecine, formează un alt chenar compus din toate culorile, iar chenarele exterioare compuse din toate culorile așezate în ordine, fiind învecinate, formează al treilea chenar larg compus din toate culorile. Acestea sînt cele trei chenare de lumină colorată de care sînt înconjurate umbrele tuturor corpurilor în observația a doua.

Cînd făceam observațiile de mai sus, mi-am propus să repet cele mai multe dintre ele cu mai multă grijă și exactitate și să efectuez altele noi pentru a determina felul în care se curbează razele de lumină în trecerea lor pe lîngă corpuri ca să producă chenarele colorate cu liniile întunecoase dintre ele. Dar, deoarece atunci am fost întrerupt, acum nu mă mai pot gîndi să iau din nou în considerare aceste lucruri. Fiindcă nu am terminat această parte a planului meu, voi încheia propunînd cîteva *probleme* pentru cercetările ulterioare pe care le vor face alții:

Problema 1. Corpurile nu acționează asupra luminii la oarecare distanță și prin acțiunea lor nu-i curbează razele? Această acțiune nu este (*caeteris paribus*)* mai intensă la o distanță mai mică?

* Toate celelalte fiind egale.

Problema 2. Razele care diferă în refrangibilitate nu se deosebesc şi în reflexibilitate? Nu sînt separate una de cealaltă prin inflexiunile lor diferite, astfel ca după separare să producă cele trei chenare colorate descrise mai sus? În ce manieră sînt ele curbate ca să formeze acele chenare?

Problema 3. Razele de lumină în trecerea lor pe lîngă muchiile şi marginile corpurilor nu se curbează de mai multe ori în diverse direcţii cu o mişcare asemănătoare mişcării unui ţipar? Iar cele trei chenare de lumină colorată menţionată mai sus nu se nasc din trei astfel de inflexiuni?

Problema 4. Razele de lumină care cad pe corpuri şi sînt reflectate şi refractate, nu încep să se curbeze înainte de a ajunge la corpuri? Nu sînt reflectate, refractate şi curbate, potrivit unuia şi aceluiaşi principiu, care acţionează în mod diferit în condiţii diferite?

Problema 5. Corpurile şi lumina nu acţionează reciproc unul asupra altuia, adică corpurile asupra luminii emiţînd-o, reflectînd-o, curbînd-o, iar lumina asupra corpurilor încălzindu-le şi punînd părţile lor într-o mişcare de vibraţie din care apare căldura?

Problema 6. Corpurile negre nu primesc mai uşor căldura de la lumină decît cele de alte culori din cauză că lumina căzînd pe ele, nu se reflectă în afară, ci intră în corpuri şi se reflectă şi refractă în interiorul lor de repetate ori pînă ce se stinge şi dispare?

Problema 7. Intensitatea şi puterea acţiunii dintre lumină şi corpurile sulfuroase nu este una dintre cauzele pentru care corpurile sulfuroase se aprind mai uşor şi ard cu mai multă violenţă decît celelalte corpuri?

Problema 8. Toate corpurile solide care sînt încălzite peste un anumit grad emit lumină şi strălucesc; această emisie nu este oare produsă de mişcările vibratorii ale părţilor lor? Toate corpurile solide care abundă în părţi terestre, şi în special în cele sulfuroase, nu emit lumină ori de cîte ori acele părţi sînt suficient de agitate, fie că această agitaţie e produsă cu ajutorul căldurii prin frecare, percuţie, putrefacţie sau prin orice mişcare vitală sau o altă cauză? Aşa sînt, de exemplu, apa mării în timp de furtună, mercurul agitat *in vacuo**, spatele unei pisici sau gîtul unui cal pe care-l netezim sau frecăm oblic în întuneric; lemnul, carnea şi peştele în putrefacţie, vaporii ce se înalţă din apele care putrezesc, numiţi de obicei

* Vid.

ignes fatui * ; grămezi de fîn sau de grîne umede încălzite prin fermentaţie, licuricii sau ochii unor animale prin mişcări vitale; *phosphorus* ** obişnuit, agitat prin frecarea cu vreun corp sau datorită particulelor acide ale aerului; chilimbarul şi anumite diamante prin lovire, apăsare sau frecare; bucăţele de oţel scăpărate de cremene; fierul ciocănit foarte repede pînă ce devine atît de cald încît aprinde sulful aruncat asupra lui; osiile carelor ce iau foc prin rotirea rapidă a roţilor; şi unele lichide amestecate între ele ale căror particule acţionează puternic între ele, ca uleiul de vitriol distilat dintr-o cantitate egală de salpetru şi apoi amestecat cu o cantitate dublă de ulei de anisol. De asemenea o sferă de sticlă avînd un diametru de vreo 8 sau 10 inch, fiind pusă într-un dispozitiv în care se poate învîrti repede în jurul axei sale, prin rotire va lumina în locul unde se freacă de palma mîinii cu care e în contact; iar dacă în acelaşi timp ţinem o bucată de hîrtie albă sau de pînză albă ori vîrful unui deget la o distanţă de aproximativ un sfert de inch de partea sticlei care este în mişcare mai rapidă. *Aburul* electric ce se excită prin frecarea sticlei de mînă, ţîşnind spre hîrtia albă, pînză sau deget, se va pune într-o astfel de agitaţie, încît va emite lumină şi va face ca hîrtia albă, pînza sau degetul să apară luminoase ca un licurici; ţîşnind afară din sticlă, uneori va lovi degetul în aşa fel încît se va face simţit. Aceleaşi lucruri au fost observate la frecarea unui cilindru lung şi gros de sticlă sau de chihlimbar cu o hîrtie ţinută într-o mînă şi continuînd frecarea pînă ce sticla se încălzea.

Problema 9. Focul nu este un corp încălzit atît de tare încît emite lumină din belşug? Căci ce este un fier roşu fierbinte decît foc? Şi ce este un cărbune aprins decît lemn încălzit la roşu?

Problema 10. Flacăra nu este abur, fum sau exhalaţii încălzite pînă la roşu, adică atît de fierbinţi încît luminează? Într-adevăr, corpurile nu se aprind fără să emită fum abundent şi acest fum arde în flacără. *Ignis fatuus* este un abur care luminează fără căldură; şi nu există aceeaşi deosebire între aceşti vapori şi flacără ca între lemnul putred ce luminează fără lumină şi cărbunii incandescenţi? La distilarea spirturilor fierbinţi, dacă ridicăm capacul alambicului, vaporii care se ridică din alambic vor lua foc la flacăra unei lumînări şi se vor preface în flacără, iar flacăra se va răspîndi de-a lungul vaporilor de la lumînare pînă la alambic. Unele corpuri

* Luminiţe rătăcitoare, lumini jucătoare.
** Fosfor.

încălzite prin mişcare sau fermentaţie, dacă devin fierbinţi, fumegă din abundenţă şi, dacă căldura este destul de mare, fumul va lumina şi va deveni flacără. Metalele în fuziune nu dau flacără din cauza lipsei de fum abundent, cu excepţia zincului, care fumegă din abundenţă şi deci produce flacără. Toate corpurile care produc flacără, ca uleiul, seul, ceara, lemnul, cărbunele de pămînt, smoala, sulful, prin flacără se consumă şi se împrăştie într-un fum arzător, care stinge flacăra, este foarte gros şi vizibil şi uneori dă un miros tare, însă în flacără îşi pierde mirosul prin ardere şi, potrivit naturii fumului, este de diferite culori, ca cea albastră a sulfului, cea verde a cuprului dizolvat prin sublimat, cea galbenă a seului, cea albă a camforului. Fumul, trecînd prin flacără, nu poate să nu se înroşească, iar fumul înroşit nu poate avea alt aspect decît acela al unei flacări. Cînd praful de puşcă ia foc, el trece în fum incandescent. Cărbunele de lemn şi sulful iau foc uşor şi aprind salpetrul, iar spirtul de azot *, fiind în acest fel rarefiat în vapori, ţîşneşte afară cu explozie în acelaşi fel cum ies vaporii de apă din eolipil** ; de asemenea şi sulful, fiind volatil, se transformă în vapori şi măreşte explozia. Vaporii acizi de sulf (anume aceia care se transformă în ulei de sulf prin distilare sub un clopot), intrînd cu violenţă în corpul solid al salpetrului, pun în libertate spirtul de azot şi produc o fermentaţie intensă, în urma căreia căldura creşte mult şi părţile solide ale nitratului se rarefiază, transformîndu-se în fum, şi în acest fel explozia se produce cu mai multă violenţă şi mai rapid. Într-adevăr, dacă amestecăm sare de tartru cu praf de puşcă şi încălzim amestecul pînă ce ia foc, explozia va fi mai intensă şi mai rapidă decît a prafului de puşcă singur, şi aceasta nu poate avea altă cauză decît că vaporii prafului de puşcă acţionează asupra sării de tartru, datorită căreia sarea se rarefiază. Prin urmare, explozia prafului de puşcă ia naştere din acţiunea violentă prin care întreg amestecul, fiind încălzit repede şi intens, se rarefiază şi se preface în fum şi vapori, iar vaporii în urma violenţei acelei acţiuni ajung atît de fierbinţi, încît luminează şi apar sub formă de flacără.

Problema 11. Nu-şi păstrează corpurile mari căldura timp mai îndelungat pentru că părţile lor se încălzesc reciproc? Şi nu se poate ca corpurile mari, dense şi solide, cînd sînt încălzite peste un anumit

---

* Acid azotic.

** Aparat format dintr-o sferă în care se găseşte apă: Prin încălzire vaporii ies cu putere prin tuburile laterale şi imprimă o mişcare de rotaţie a aparatului. Se foloseşte pentru ilustrarea puterii vaporilor.

grad, să emită lumină atît de abundent, încît prin emisia și reacția luminii lor și prin reflexiile și refracțiile razelor în porii lor să devină mai fierbinți pînă ce ajung la un anumit grad de căldură egală cu cea a Soarelui? Iar Soarele și stelele fixe nu sînt oare vaste Pămînturi foarte încălzite, a căror căldură se conservă datorită mărimii corpurilor și acțiunii și reacțiunii reciproce dintre ele și lumina pe care o emit și ale căror părți sînt împiedicate să fumege nu numai prin soliditatea lor, ci și prin marea greutate și densitate a atmosferelor ce apasă asupra lor și le comprimă cu mare intensitate, condensînd vaporii și exhalațiile ce se ridică din ele? Într-adevăr, dacă încălzim ușor apa într-un vas transparent golit de aer, apa va clocoti și va fierbe tot atît de violent *in vacuum* ca și în aer liber într-un vas pus la foc cînd primește cu mult mai multă căldură. Căci greutatea atmosferei care apasă reține vaporii și împiedică fierberea apei pînă ce devine cu mult mai fierbinte decît se cere ca să fiarbă *in vacuo*. De asemenea un amestec de staniu și plumb, fiind așezat pe o bucată de fier incandescent *in vacuo*, emite fum și flacără, dar același amestec în aer liber, din cauza atmosferei ce-l apasă, nu emite nici un fum care să poată fi văzut. În același fel, marea greutate a atmosferei care se află pe globul Soarelui poate împiedica corpurile de acolo de a se ridica și de a se îndepărta de Soare sub formă de vapori și fum sub acțiunea unei călduri cu mult mai mari decît aceea care la suprafața Pămîntului nostru ar preface-o foarte ușor în vapori și fum. Aceeași greutate mare poate condensa acei vapori și exhalații imediat ce încep a se ridica din Soare și să le forțeze să se întoarcă imediat înapoi la el și prin această acțiune îi măresc căldura cam în același fel în care pe Pămîntul nostru aerul mărește căldura focului din bucătărie. Aceeași greutate poate împiedica globul Soarelui de a se micșora dacă aceasta nu are loc prin emisie de lumină și a unei cantități foarte mici de vapori și de exhalații.

Problema 12. Razele de lumină căzînd pe fundul ochiului nu excită vibrații în *tunica retina*? Aceste vibrații, propagîndu-se de-a lungul fibrelor solide ale nervilor optici la creier, cauzează senzația vederii. Într-adevăr, din cauză că corpurile dense își conservă căldura un timp lung, iar cele mai dense o conservă un timp și mai lung, vibrațiile părților lor sînt de natură durabilă și deci se pot propaga de-a lungul fibrelor solide ale materiei uniforme și dense la o mare distanță pentru a transmite creerului impresiile produse asupra tuturor organelor de simț. Căci mișcarea care poate continua

multă vreme într-una şi aceeaşi parte a unui corp se poate propaga pe un drum lung de la o parte la alta, presupunînd că corpul e omogen, astfel că mişcarea nu se poate reflecta, refracta, întrerupe sau denatura de nici o inegalitate a corpului.

Problema 13. Diferitele feluri de lumină nu produc oare vibraţii de diverse mărimi care excită senzaţii de diferite culori potrivit mărimilor lor, foarte asemănătoare cu vibraţiile aerului, care, potrivit mărimilor lor diferite, excită senzaţii de diferite sunete? În particular, razele cele mai refrangibile nu excită vibraţii mai scurte care dau senzaţia de violet-închis, cele mai puţin refrangibile vibraţii mai lungi care produc impresia de roşu-închis, iar diferitele feluri de raze intermediare vibraţii de mărimi intermediare producătoare ale diverselor culori intermediare?

Problema 14. Armonia şi discordanţa culorilor nu provine oare din rapoartele dintre vibraţiile propagate prin fibrele nervilor optici la creier, după cum acordul şi dezacordul sunetelor provine din rapoartele dintre vibraţiile aerului? Într-adevăr, unele culori, dacă sînt privite împreună, se potrivesc între ele, cum e culoarea aurului şi indigoului, pe cînd celelalte nu se potrivesc.

Problema 15. Imaginile obiectelor văzute cu amîndoi ochii nu se unesc acolo unde se întîlnesc nervii optici înainte de a intra în creier, fibrele din partea dreaptă a ambilor nervi unindu-se acolo şi după unire mergînd în creier prin nervul care e de partea dreaptă a capului, iar fibrele din partea stîngă a ambilor nervi unindu-se în acelaşi loc şi după unire mergînd la creier prin nervul care e de partea stîngă a capului, şi aceşti doi nervi întîlnindu-se în creier în aşa fel că fibrele lor nu formează decît o singură imagine întreagă, a cărei jumătate este de partea dreaptă a *sensorium*-ului şi vine din partea dreaptă a ambilor nervi optici la locul unde se întîlnesc nervii şi de acolo la partea dreaptă a capului în creier, iar cealaltă jumătate care este de partea stîngă a *sensorium*-ului vine la fel din partea stîngă a ambilor ochi? Într-adevăr, nervii optici ai animalelor care privesc cu amîndoi ochii în aceeaşi direcţie (ca oamenii, cîinii, oile, boii etc.) se întîlnesc înainte de a ajunge la creier, pe cînd nervii optici ai animalelor care nu privesc cu amîndoi ochii în aceeaşi direcţie (ca peştii sau cameleonul) nu se întîlnesc, dacă am fost bine informat.

Problema 16. Cînd un om îşi apasă în întuneric cu degetul un colţ al ochiului şi îşi întoarce ochiul de la deget, va vedea un cerc colorat asemănător cu cele din penele din coada păunului.

Dacă ochiul şi degetul rămîn liniştite, aceste culori dispar într-o secundă; dacă însă degetul se mişcă cu o mişcare tremurătoare, ele apar din nou. Nu provin oare aceste culori din astfel de mişcări excitate în fundul ochiului de apăsarea şi mişcarea degetului, după cum altă dată sînt excitate de lumina care cauzează vederea? Şi nu continuă o secundă mişcările odată produse înainte de a înceta? Iar cînd cineva, lovindu-şi ochiul, vede o sclipire de lumină, prin lovire nu se excită o mişcare analogă în retină? Cînd un cărbune aprins mişcat repede pe circumferinţa unui cerc face ca întreaga circumferinţă să apară ca un cerc de foc, aceasta nu este din cauză că mişcările excitate în fundul ochiului sînt de natură durabilă şi continuă pînă ce cărbunele arzător, rotindu-se, se întoarce în locul său de mai înainte? Apoi, considerînd durata mişcărilor excitate în fundul ochiului de lumină, ele nu sînt de natură vibratorie?

Problema 17. Dacă aruncăm o piatră într-o apă liniştită, undele excitate în modul acesta continuă să se producă cîtva timp în locul în care a căzut piatra în apă şi de acolo se propagă în cercuri concentrice pe suprafaţa apei la mari distanţe. Vibraţiile sau tremurările excitate în aer prin percuţie continuă să se mişte cîtva timp din locul percuţiei în sfere concentrice pînă la distanţe mari. La fel, cînd o rază de lumină cade pe suprafaţa unui corp transparent şi este refractată sau reflectată, nu se pot excita în acest fel unde de vibraţii sau de tremurări în mediul refractator sau reflectator în punctul de incidenţă şi continuă să se producă acolo şi să se propage tot atît timp cît continuă să se producă şi să se propage cînd sînt excitate în fundul ochiului prin apăsarea sau mişcarea degetului sau prin lumina ce vine de la cărbunele aprins în experienţele menţionate mai sus? Aceste vibraţii nu se propagă din punctul de incidenţă la distanţe mari? Nu întrec ele razele de lumină şi, depăşindu-le succesiv, nu le aduc în accese de uşoară reflexie şi uşoară transmisie descrise mai sus? Căci dacă razele încearcă să se retragă de la părţile mai dense ale vibraţiei, ele pot fi alternativ accelerate şi întîrziate de vibraţiile care le întrec.

Problema 18. Dacă în două vase de sticlă cilindrice mari, înalte şi întoarse suspendăm două termometre mici în aşa fel ca să nu atingă vasele şi scoatem aerul dintr-unul din vase, iar vasele astfel aranjate le transportăm dintr-un loc rece într-unul cald, termometrul care se află *in vacuo* se va răci tot atît de mult şi tot atît de repede ca şi cel care nu este *in vacuo*. Iar dacă vasele sînt duse înapoi în locul rece, termometrul din vid se va răci tot aşa de

repede ca şi celălalt. Nu se comunică oare căldura încăperii calde prin *vacuum* prin intermediul vibraţiilor unui mediu mai subtil decît aerul, care, după ce a fost scos aerul rămîne *in vacuum*? Acest mediu nu e acelaşi cu mediul în care se refractă şi se reflectă lumina şi prin ale cărui vibraţii lumina comunică corpurilor căldură şi este pusă în accese de uşoară reflexie şi uşoară transmisie? Vibraţiile acestui mediu în corpurile calde nu contribuie la intensitatea şi la durata căldurii lor? Iar corpurile calde nu-şi comunică căldura corpurilor vecine reci prin vibraţiile acestui mediu propagate de la ele la cele reci? Nu este acest mediu cu mult mai rar şi mai subtil decît aerul şi peste măsură mai elastic şi mai activ? Nu pătrunde el repede toate corpurile? Şi nu se răspîndeşte (datorită forţei sale elastice) prin toate cerurile?

Problema 19. Refracţia luminii nu provine din densităţile diferite ale acestui mediu eteric în locuri diferite, lumina îndepărtîndu-se încontinuu de părţile mai dense ale mediului? Densitatea acestuia nu e mai mare în spaţiile libere şi deschise golite de aer şi de alte corpuri mai mari decît în porii de apă, sticlă, cristal, pietre preţioase şi alte corpuri compacte? Căci, dacă lumina trece prin sticlă sau prin cristal şi cade foarte oblic pe suprafaţa lui mai îndepărtată şi se reflectă total, reflexia totală trebuie să provină mai degrabă din densitatea şi puterea mediului din afară şi dincolo de sticlă decît din raritatea şi slăbiciunea lui.

Problema 20. Acest mediu eteric, ieşind din apă, sticlă, cristal şi alte corpuri compacte şi dense în spaţii goale, nu devine treptat din ce în ce mai dens şi prin acest mijloc refractă razele de lumină nu numai într-un punct, ci le îndoaie treptat în linii curbe? Iar condensarea treptată a acestui mediu nu se extinde la o anumită distanţă de la corpuri şi nu produce acolo inflexiunea razelor de lumină care trec pe la marginea corpurilor dense la o anumită distanţă de corpuri?

Problema 21. Acest mediu nu este mai rar în interiorul corpurilor mai dense ale Soarelui, stelelor, planetelor şi cometelor decît în spaţiile cereşti goale dintre ele? Şi, îndepărtîndu-se de ele la distanţe mari, nu devine încontinuu din ce în ce mai dens şi deci cauzează gravitaţia reciprocă a respectivelor corpuri mari şi a părţilor lor către centru, tinzînd pentru fiecare corp să meargă de la părţile mai dense spre cele mai rare? Într-adevăr dacă acest mediu este mai rar în corpul Soarelui decît la suprafaţa sa şi mai rar aici decît la distanţa de a suta parte dintr-un inch de corpul său, iar acolo

mai rar decît la o distanță de a cincizecea parte dintr-un inch de la corpul său și mai rar acolo decît pe orbita lui Saturn, nu văd nici un motiv pentru care creșterea densității s-ar opri undeva și nu s-ar continua mai repede pe toate distanțele de la Soare la Saturn și mai departe. Cu toate că această creștere a densității poate să fie la distanțe mari excesiv de înceată, totuși, dacă forța elastică a acestui mediu este excesiv de mare, ea poate fi suficientă pentru a împinge corpurile de la părțile mai dense ale mediului spre cele mai rare cu întreaga putere pe care o numim *gravitație*. Forța elastică a acestui mediu, care este extrem de mare, se poate deduce din viteza vibrațiilor sale. Sunetul se propagă cu aproximativ 1 140 de picioare engleze pe secundă, iar în șapte sau opt minute parcurge vreo sută de mile engleze*. Lumina vine de la Soare la noi în vreo șapte sau opt minute, adică parcurge o distanță de vreo 70 000 000 de mile engleze, presupunînd că paralaxa orizontală a Soarelui e de vreo 12''. Pentru ca vibrațiile sau pulsațiile acestui mediu să poată cauza accesele alternative de ușoară transmisie și ușoară reflexie, ele trebuie să fie mai iuți decît lumina și, în consecință, de peste 700 000 de ori mai iuți decît sunetul. Prin urmare, forța elastică a acestui mediu în raport cu densitatea lui trebuie să fie de peste 700 000 $\times$ 700 000 (adică de peste 490 000 000 000) de ori mai mare decît forța elastică a aerului în raport cu densitatea sa. Căci vitezele pulsațiilor mediilor elastice sînt în raportul** rădăcinii pătrate a elasticităților și rarefierilor mediilor luate împreună.

După cum atracția este mai intensă în magneții mici decît în cei mari proporțional cu mărimea lor, iar gravitatea este mai mare la suprafețele planetelor mici decît la ale celor mari proporțional cu mărimea lor, corpurile mici se agită cu mult mai mult prin atracția electrică decît cele mari; la fel micimea razelor de lumină poate contribui foarte mult la puterea agentului prin care se refractă. Astfel, dacă cineva ar presupune că *eterul* (ca aerul nostru) poate conține particule care încearcă să se depărteze una de alta (fiindcă eu nu știu ce este acest eter) și că particulele sale sînt cu mult mai mici decît ale aerului sau chiar decît ale luminii, micimea excesivă a particulelor sale poate contribui la mărimea forței prin care

* Mila engleză, sau britanică = 1 609 m, se deosebește de mila de Londra = 1 524 m.

** Exprimă formula lui Newton pentru viteza v a sunetului $v = \sqrt{\frac{E}{d}}$, unde E este modulul de elasticitate, iar d densitatea mediului.

acele particule se pot îndepărta una de alta şi deci să facă acel mediu excesiv mai rar şi mai elastic decît aerul, şi, în consecinţă, cu mult mai puţin capabil să reziste la mişcările proiectilelor şi mult mai puţin capabil să apese asupra corpurilor mari, căutînd să se dilate el însuşi.

Problema 22. Planetele, cometele şi toate corpurile mari nu se pot mişca mai liber şi cu rezistenţă mai mică în acest mediu eteric decît în oricare fluid, care umple exact întreg spaţiul fără să lase pori şi, în consecinţă, este cu mult mai dens decît mercurul sau aurul ? Iar rezistenţa acestui mediu nu este, nu poate fi atît de mică încît să nu fie luată în considerare. De exemplu, dacă acest *eter* (căci aşa vreau să-l numesc) îl presupunem de 700 000 de ori mai elastic decît aerul nostru şi de peste 700 000 de ori mai rar, rezistenţa lui va fi de peste 600 000 000 de ori mai mică decît a apei. O rezistenţă atît de mică abia ar putea produce vreo modificare sensibilă în mişcările planetelor în zece mii de ani. Dacă cineva ar întreba cum poate fi un mediu atît de rar, să-mi spună cum poate fi aerul în părţile superioare ale atmosferei mai bine de o sută de mii de ori mai rar ca aurul. De asemenea să-mi spună în ce fel poate un corp electric emite prin frecare o exhalaţie atît de rară şi de subtilă şi totuşi atît de puternică încît prin emisia ei să nu cauzeze nici o micşorare sensibilă a greutăţii corpului electric şi să se răspîndească printr-o sferă al cărei diametru este de peste două picioare şi totuşi să fie capabilă să mişte şi să ridice o foiţă de cupru la o distanţă de mai bine de un picior de la corpul electrizat ? Şi cum pot fi efluviile unui magnet atît de rare şi de subtile încît să treacă printr-o placă de sticlă fără nici o rezistenţă sau micşorare a forţei lor şi totuşi atît de puternic încît să învîrtească un ac magnetic de cealaltă parte a sticlei ?

Problema 23. Vederea nu este oare produsă mai ales de vibraţiile acestui mediu, excitate în fundul ochiului de razele de lumină şi propagate prin fibrele solide, transparente şi uniforme ale nervilor optici pînă la locul senzaţiei ? Iar auzul nu este produs de vibraţiile fie ale acestuia sau ale unui alt mediu excitate în nervii auditivi prin tremurările aerului şi propagate prin fibrele solide, transparente şi uniforme ale acelor nervi pînă la locul senzaţiei ? Şi la fel despre celelalte simţuri.

Problema 24. Mişcarea animală nu este produsă de vibraţiile acestui mediu excitate în creier de puterea voinţei şi propagate de acolo prin fibrele solide, transparente şi uniforme ale nervilor pînă la muşchi pentru a-i contracta şi dilata ? Eu presupun că fiecare

fibră a nervilor este solidă şi uniformă, că mişcarea vibratorie a mediului eteric se poate propaga de-a lungul lor de la un capăt la celălalt în mod uniform şi fără întrerupere; căci obstrucţii în nervi creează paralizii. Pentru ca ele să fie suficient de uniforme, eu le presupun a fi transparente cînd sînt privite separat, deşi reflexiile pe suprafeţele lor cilindrice pot face ca nervul întreg (compus din mai multe fibre) să apară opac şi alb. Căci opacitatea provine de la suprafeţele reflectatoare, în aşa fel că pot deranja şi întrerupe mişcările acestui mediu.

Problema 25. Nu există şi alte proprietăţi originale ale razelor de lumină în afară de cele deja descrise? Un exemplu de altă proprietate originală îl avem la refracţia cristalului de Islanda, descrisă mai întîi de *Erasmus Bartholinus*,* şi după aceea cu mult mai exact de *Huygenius* în cartea sa *De la lumière*. Cristalul de Islanda este o piatră transparentă ce se poate despica uşor, clară ca apa sau ca cristalul de stîncă şi fără culoare; el poate fi încălzit la roşu fără să-şi piardă transparenţa, iar la o căldură intensă calcinează fără a se topi. Înmuiat o zi sau două în apă, îşi pierde lustrul natural. Fiind frecat cu postav atrage fire de pai şi alte corpuri uşoare, la fel ca chihlimbarul sau sticla, iar cu *aqua fortis* ** intră în fierbere. El pare a fi o specie de talc şi se găseşte sub formă de paralelipiped oblic cu şase feţe paralelogramice şi opt unghiuri solide. Unghiurile obtuze ale paralelogramelor au fiecare 101 grade şi 52 de minute, iar cele ascuţite 78 de grade şi 8 minute. Două dintre unghiurile solide opuse unul altuia, ca C şi E (fig. 4), sînt compuse fiecare din trei dintre aceste unghiuri obtuze, iar fiecare din celelalte şase dintr-unul obtuz şi două ascuţite. Clivează uşor în plane paralele cu fiecare din feţele sale, dar nu mai clivează după nici un alt plan. Clivînd, dă o suprafaţă lucie, netedă, care nu este perfect plană, ci are unele mici inegalităţi. Se zgîrie uşor, iar din cauză că e moale cu greu se poate şlefui. El se şlefuieşte mai bine pe o oglindă de sticlă decît pe metal şi probabil chiar mai bine pe smoală, piele sau pergament. După aceea trebuie frecat cu puţin ulei sau cu albuş de ou ca să i se umple zgîrieturile; prin aceasta va deveni foarte transparent şi neted. Pentru multe experienţe însă nu e necesar să-l şlefuim. Dacă punem o bucată de un astfel de cristal pe o carte, fiecare literă a cărţii privită prin el va apare dublă în urma dublei refracţii. Dacă un fascicul de lumină cade fie perpendicular, fie

---

* Erasmus Bartholinus, *Experimentis Chrystalii Islandici Disdiaclastici*, 1609.
** *Acidum nitricum crudum*, apă tare.

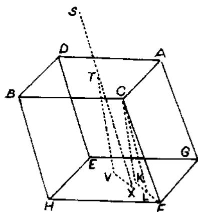


Fig. 4

sub un unghi oblic pe vreo suprafață a acestui cristal, el se împarte în două fascicule din cauza aceleiași duble refracții. Aceste fascicule au aceeași culoare ca fasciculul de lumină incidentă și par a fi egale între ele sau aproape egale. Una dintre aceste refracții se face după legile ordinare ale opticii, sinusul de incidență din aer în cristal fiind către sinusul de refracție în raportul 5/3. Cealaltă refracție, care se poate numi refracție extraordinară, se face după regula următoare.

Fie *ADBC* suprafața refractatoare a cristalului, *C* unghiul solid cel mai mare la această suprafață, *GEHF* suprafața opusă, iar *CK* o perpendiculară pe acea suprafață. Această perpendiculară face cu muchia *CF* a cristalului un unghi de 19 grade și 3 min. Să unim *KF* și pe ea să luăm *KL*, astfel ca unghiul *KCL* să fie de 6 grade și 40 min, iar unghiul *LCF* de 12 grade și 23 min. Dacă *ST* reprezintă un fascicul de lumină incidentă în *T* sub un unghi oarecare pe suprafața refractatoare *ADBC*, fie *TV* fasciculul refractat determinat de raportul dat al sinusurilor 5/3 potrivit regulii obișnuite a opticii. Să trasăm *VX* paralelă și egală cu *KL*. S-o trasăm în același fel față de *V* cum era *L* față de *K*. Unind *T* cu *X*, această linie va fi celălalt fascicul refractat dus din *T* la *X* prin refracția extraordinară.

Prin urmare, dacă fasciculul incident *ST* este perpendicular pe suprafața refractatoare, cele două fascicule *TV* și *TX* în care se va despărți vor fi paralele cu liniile *CK* și *CL*, unul dintre aceste fascicule trecînd perpendicular prin cristal, după cum ar trebui după legile obișnuite ale opticii, iar celălalt *TX* printr-o refracție extraordinară ce se abate de la perpendiculară și face cu ea un unghi *VTX* de aproximativ 6 2/3 grade, după cum s-a găsit prin experiență. De aceea planul *VTX* și planele asemănătoare paralele cu planul *CFK* se pot numi plane de reflexie perpendiculară. Latura spre care sînt trasate liniile *KL* și *VX* poate fi numită latura de refracție extraordinară.

La fel cristalul de stîncă prezintă o dublă refracţie; dar deosebirea celor două refracţii nu e atît de mare şi de evidentă ca în cristalul de Islanda.

Cînd fasciculul incident *ST* pe cristalul de Islanda se desparte în două fascicule *TV* şi *TX* şi aceste două fascicule sosesc la suprafaţa posterioară a sticlei, fasciculul *TV*, care s-a refractat extraordinar la suprafaţa întîi, se va refracta din nou complet extraordinar la suprafaţa a doua, astfel că ambele fascicule vor ieşi din suprafaţa a doua în linii paralele cu primul fascicul incident *ST*.

Dacă cele două bucăţi de cristal de Islanda se aşază una după alta în aşa fel ca toate suprafeţele celei de-a doua să fie paralele cu toate suprafeţele corespunzătoare ale celei dintîi, razele care s-au refractat ordinar la întîia suprafaţă a primului cristal se vor refracta ordinar la suprafeţele următoare, iar razele care s-au refractat ordinar la prima suprafaţă se vor refracta extraordinar la suprafeţele următoare. Acelaşi lucru se întîmplă şi atunci cînd suprafeţele cristalelor sînt înclinate una faţă de alta, cu condiţia ca planele lor de refracţie perpendiculară să fie paralele între ele.

În consecinţă, există o deosebire iniţială în razele de lumină, datorită căreia unele raze sînt în această experienţă în mod constant refractate ordinar, iar altele constant extraordinar; căci, dacă diferenţa nu e de la început, ci provine din modificări noi imprimate razeler la prima lor refracţie, ea ar fi alterată prin modificări noi în cele trei refracţii următoare; dar ea nu suferă nici o alterare, ci este constantă şi are acelaşi efect asupra razelor în toate refracţiile. Prin urmare, refracţia extraordinară e produsă de o proprietate iniţială a razelor. Rămîne să se cerceteze dacă ele nu au mai multe proprietăţi de acest fel decît cele descoperite pînă acum.

Problema 26. Razele de lumină nu au oare diferite laturi dotate cu diferite proprietăţi originare? Căci dacă planele de refracţie perpendiculară ale cristalului al doilea formează un unghi drept cu planele de refracţie perpendiculară a primului cristal, razele ce se refractă ordinar trecînd prin primul cristal vor fi refractate extraordinar la trecerea lor prin cristalul al doilea, iar razele care se refractă extraordinar trecînd prin primul cristal se vor refracta ordinar la trecerea prin cristalul al doilea. Prin urmare, nu sînt două feluri de raze diferind între ele prin natura lor, dintre care una se refractă constant şi în toate poziţiile ordinar, iar cealaltă constant şi în toate poziţiile extraordinar. Deosebirea dintre cele două feluri de raze din experienţa menţionată în problema 25 constă numai în poziţiile laturilor razelor faţă de planele de refracţie per-

pendiculară. Într-adevăr, una şi aceeaşi rază se refractă uneori ordinar, iar alteori extraordinar, potrivit poziţiei pe care le au laturile sale faţă de cristale. Dacă laturile razei au aceeaşi poziţie faţă de ambele cristale, ea se refractă la fel în amîndouă ; dacă însă latura razei îndreptată spre faţa de refracţie extraordinară a primului cristal formează un unghi de 90 de grade cu latura aceleiaşi raze îndreptată spre faţa de refracţie extraordinară a cristalului al doilea (ceea ce se poate realiza variind poziţia cristalului al doilea faţă de a celui dintîi şi, în consecinţă, faţă de razele de lumină), raza se va refracta în diferite feluri în diversele cristale. Aici nu se mai cere să se determine dacă razele de lumină ce cad pe cristalul al doilea se vor refracta ordinar sau extraordinar, ci să se rotească cristalul în aşa fel ca faţa lui de refracţie extraordinară să fie de o parte sau de cealaltă parte a razei. Deci fiecare rază poate fi considerată ca avînd patru laturi sau sferturi, dintre care două, opuse una celeilalte, înclină raza ca să se refracte extraordinar ori de cîte ori una sau alta din ele este îndreptată spre latura de refracţie extraordinară. Celelalte două, ori de cîte ori una dintre ele este îndreptată spre latura de refracţie extraordinară, nu o înclină să se refracte altfel decît după cea ordinară. Prin urmare, primele două se pot numi laturi de refracţie extraordinară. Fiindcă aceste dispoziţii existau în raze înainte ca ele să cadă pe suprafaţa a doua, a treia şi a patra a celor două cristale şi nu sufereau nici o modificare (cel puţin în aparenţă) prin refracţia razelor la trecerea lor prin acele suprafeţe, iar razele se refractau după aceleaşi legi la toate cele patru suprafeţe, este evident că acele dispoziţii erau originare în raze şi nu sufereau nici o schimbare la prima refracţie şi că prin mijlocirea acelor dispoziţii razele se refractau la incidenţa lor pe întîia suprafaţă a primului cristal unele ordinar, iar altele extraordinar, după cum laturile lor de refracţie extraordinară erau îndreptate spre faţa de refracţie extraordinară a cristalului sau alături de ea.

Aşadar, orice rază de lumină posedă două laturi opuse înzestrate iniţial cu o proprietate de care depinde refracţia extraordinară şi alte două laturi opuse reînzestrate cu această proprietate. Mai rămîne să se cerceteze dacă nu sînt şi alte proprietăţi ale luminii prin care diferă laturile razelor şi se deosebesc una de alta.

La explicarea deosebirii dintre laturile razelor menţionate mai sus am presupus că razele cad perpendicular pe primul cristal. Dar şi dacă cad oblic rezultatul este acelaşi. Razele ce se refractă ordinar în primul cristal se vor refracta extraordinar în al doilea, admiţînd

că planele de refracţie perpendiculară formează între ele unghiuri drepte ca mai sus şi invers.

Dacă planele de refracţie perpendiculară nu sînt nici paralele, nici perpendiculare una pe cealaltă, ci cuprind un unghi ascuţit, cele două fascicule de lumină ce ies din primul cristal se vor despărţi la fiecare dintre ele în alte două la incidenţa lor pe cristalul al doilea. În acest caz, razele din fiecare dintre cele două fascicule îşi au unele laturile de refracţie extraordinară, iar altele celelalte laturi îndreptate spre faţa de refracţie extraordinară a cristalului al doilea.

Problema 27. Nu sînt eronate oare toate ipotezele imaginate pînă acum pentru a explica fenomenele luminii prin modificarea razelor? Căci acele fenomene nu depind de noi modificări, după cum s-a presupus, ci de proprietăţile originare şi neschimbătoare ale razelor.

Problema 28. Nu sînt eronate oare toate ipotezele în care se presupune că lumina constă dintr-o presiune sau mişcare propagată printr-un mediu fluid? * Într-adevăr, în toate aceste ipoteze fenomenele luminoase au fost pînă acum explicate presupunînd că ele provin din noi modificări ale razelor, ceea ce e o presupunere greşită.

Dacă lumina ar consta numai într-o presiune propagată fără o mişcare actuală, nu ar fi în stare să agite şi să încălzească corpurile care o refractă şi o reflectă. Dacă ar consta într-o mişcare propagată la orice distanţă instantaneu, ea ar pretinde în fiecare moment o forţă infinită în fiecare particulă luminoasă ca să producă acea mişcare. Iar dacă ar consta într-o presiune sau mişcare ce se propagă fie instantaneu, fie în timp, s-ar curba în umbră. Căci presiunea sau mişcarea nu se poate propaga într-un fluid în linii drepte dincolo de un obstacol care opreşte o parte a mişcării, ci se va curba şi împrăştia în toate părţile în mediul liniştit ce se află dincolo de obstacol. Gravitatea acţionează în jos, dar apăsarea apei care provine din gravitaţie este în toate direcţiile cu o forţă egală şi se propagă uşor şi cu aceeaşi forţă în lături ca şi în jos şi prin căi întortocheate ca şi prin cele drepte. Undele de la suprafaţa unei ape liniştite, trecînd pe lîngă un obstacol larg care opreşte o parte din ele, se curbează şi se dilată treptat în apa liniştită de după obstacol. Undele, pulsaţiile sau vibraţiile aerului din care constă sunetul se curbează în mod evident, deşi nu atît de mult ca undele de apă. Un clopot sau un tun se pot auzi dincolo de o colină care interceptează vederea corpului sonor şi sunetul se propagă tot atît de uşor prin tuburile îndoite ca şi prin cele drepte. Dar niciodată nu s-a văzut

* Aluzie mai ales la teoria luminii a lui Descartes.

lumina urmînd drumuri întortocheate sau îndoindu-se în umbră. Într-adevăr, stelele fixe încetează a fi văzute prin interpunerea oricărei planete în calea lor. La fel se întîmplă cu unele părţi ale Soarelui la interpunerea Lunii, a lui Mercur sau a lui Venus. Razele care trec foarte aproape de marginile unui corp se curbează puţin datorită acţiunii corpului, după cum am văzut mai sus; această curbare însă nu este spre umbră, ci de la umbră, şi are loc numai la trecerea razei pe lîngă corp şi la o distanţă foarte mică de el. Îndată ce raza a trecut de corp, ea merge drept.

Nimeni nu a încercat pînă acum (după cît ştiu) să explice refracţia extraordinară a cristalului de Islanda printr-o presiune sau mişcare propagată, cu excepţia lui Huygens, care în acest scop a admis două medii vibratoare diferite în interiorul acestui cristal. Dar cînd a examinat refracţia în două bucăţi succesive ale acelui cristal şi le-a aflat aşa cum le-am menţionat mai sus, el a recunoscut că nu e în stare să le explice. Căci presiunile sau mişcările propagate de la un corp luminos printr-un mediu uniform trebuie să fie la fel în toate părţile, pe cînd din acele experienţe rezultă că razele de lumină au proprietăţi diferite în diversele lor părţi. El bănuia că pulsaţiile eterului la trecerea lor prin primul cristal pot suferi anumite modificări noi, care le pot determina să se propage în mediul acesta sau în altul în interiorul cristalului al doilea după poziţia acelui cristal. Însă nu putea spune ce fel de modificări pot fi acelea, nici imagina ceva satisfăcător asupra acestui punct. Dacă ar fi ştiut că refracţia extraordinară nu depinde de noi modificări, ci de dispoziţiile originare şi imuabile ale razelor, ar fi întîmpinat tot atîta dificultate ca să explice în ce fel dispoziţiile pe care le presupunea că sînt imprimate razelor de primul cristal s-ar putea afla în ele înaintea incidenţei lor pe celălalt cristal şi, în general, în ce fel pot avea toate razele emise de corpurile luminoase în ele acele dispoziţii de la început. Cel puţin pentru mine aceasta pare inexplicabil dacă lumina nu este altceva decît presiune sau mişcare propagată prin *eter*.

De asemenea este greu să se explice prin aceste ipoteze cum pot fi razele alternativ în accese de uşoară reflexie şi de uşoară transmisie decît dacă, probabil se poate presupune că în fiecare spaţiu se află două medii eterice vibratoare şi că vibraţiile unuia dintre ele constituie lumina, iar vibraţiile celuilalt sînt mai rapide şi ori de cîte ori întrec vibraţiile celui dintîi le pun în aceste accese. Este însă de neconceput în ce fel se pot difuza prin tot spaţiul două eteruri, unul acţionînd asupra celuilalt şi în consecinţă fiind reacţionat de el, fără ca mişcările să se întîrzie, zguduie, disperseze şi confunde reciproc.

Împotriva umplerii cerurilor cu medii fluide dacă nu cumva acestea sînt excesiv de rare, se ivește o importantă obiecție din mișcările regulate și statornice ale planetelor și cometelor în mersurile lor diferite prin ceruri. De aici este evident că cerurile sînt lipsite de orice rezistență sensibilă și, în consecință, de orice materie sensibilă.

Într-adevăr, puterea de rezistență a mediilor fluide provine parte din frecarea părților mediului și parte din *vis inertiae** a materiei. Acea parte a rezistenței unui corp sferic care se naște din frecarea părților mediului este foarte aproximativ precum diametrul sau cel mult ca *factum*-ul** diametrului și al vitezei corpului sferic luate împreună, iar acea parte a rezistenței care se naște din *vis inertiae* a materiei este proporțională cu pătratul acelui *factum*. Cele două feluri de rezistență se pot distinge una de alta în orice mediu prin această diferență și, fiind distincte, se va găsi că aproape întreaga rezistență a corpurilor de o mărime potrivită care se mișcă în aer, apă, mercur și alte fluide asemănătoare cu o viteză convenabilă, provine din *vis inertiae* a părților fluidului.

Acea parte a puterii de rezistență a vreunui mediu care ia naștere din tenacitatea, frecarea sau viscozitatea părților mediului poate fi diminuată prin diviziunea materiei în părți mici și făcînd părțile mai netede și mai alunecoase; acea parte însă care provine din *vis inertiae* este proporțională cu densitatea materiei și nu poate fi micșorată prin diviziunea materiei în părți mai mici prin vreun alt mijloc decît prin descreșterea densității mediului. Din aceste motive, densitatea mediilor fluide este foarte aproape proporțională cu rezistența lor. Lichide care nu diferă mult în densitate, ca apa, spirtul de vin, spirtul de terebentină, uleiul cald, nu se deosebesc mult ca rezistență. Apa este de treisprezece sau patrusprezece ori mai ușoară decît mercurul și, în consecință, de treisprezece sau patrusprezece ori mai rară, iar rezistența ei este mai mică decît a mercurului în același raport sau aproape același, după cum am constatat prin experiențele făcute cu pendule***. Aerul liber pe care-l respirăm este de opt sau nouă sute de ori mai ușor decît apa și, în consecință, de opt sau nouă sute de ori mai rar; de aceea rezistența sa este mai mică decît a apei în același

* Forța de inerție, sau forța care rezidă în materie, este definită de Newton ca „puterea de rezistență cu care un corp, întrucît depinde de el, persistă în starea sa de repaus sau de mișcare uniformă și rectilinie" (I. Newton, *Principiile matematice ale filozofiei naturale*, definiția III).

** Produs.

*** I. Newton, *Principii*, cartea II, secțiunea II.

raport sau aproape acelaşi, după cum de asemenea am constatat prin experienţe efectuate cu pendule. Într-un aer mai rar rezistenţa este şi mai mică şi, încă rarefiindu-l, devine insensibilă. Căci penele mici care cad în aer liber întîmpină o mare rezistenţă, dar în tuburi bine golite de aer ele cad tot atît de repede ca plumbul sau aurul, după cum am văzut experimentîndu-se de mai multe ori. De aceea se pare că şi rezistenţa descreşte proporţional cu densitatea fluidului. Într-adevăr nu am constatat prin nici o experienţă că acele corpuri care se mişcă în mercur, apă sau aer întîmpină altă rezistenţă decît cea născută din densitatea şi viscozitatea acelor fluide, cum s-ar întîmpla dacă porii acelor fluide şi alte spaţii oarecare ar fi umplute cu un fluid dens şi subtil. Dacă rezistenţa într-un vas bine golit de aer nu ar fi decît de o sută de ori mai mică decît în aer liber, ea ar fi cam de un milion de ori mai mică decît în mercur. Se pare încă că este cu mult mai mică decît într-un astfel de vas şi chiar cu mult mai mică în ceruri la o înălţime de trei sau patru sute de mile de la Pămînt sau mai sus. De fapt *d. Boyle** a arătat că aerul se poate rarefia mai bine de trei mii de ori în vase de sticlă, iar cerurile sînt cu mult mai lipsite de aer decît orice *vacuum* pe care-l putem face. Într-adevăr deoarece aerul este comprimat de greutatea atmosferei, iar densitatea lui este proporţională cu forţa care-l apasă, după calcul urmează că la o altitudine de vreo 7 1/2 mile engleze de Pămînt aerul este de patru ori mai rar decît la suprafaţa Pămîntului şi la altitudinea de 15 mile el este de şasesprezece ori mai rar decît la suprafaţa Pămîntului, la altitudinile de $22\frac{1}{2}$, 30 sau 38 de mile este respectiv de 64,256 sau 1 024 de ori mai rar sau aproximativ; la altitudinile de 76,152, 228 de mile este de aproximativ 1 000 000, 1 000 000 000 000 sau 1 000 000 000 000 000 000 de ori mai rar şi aşa mai departe.

Căldura produce fluiditatea foarte mult, diminuînd tenacitatea corpurilor. Ea face fluide multe corpuri care reci nu erau fluide şi măreşte fluiditatea lichidelor vîscoase ca uleiul, balsamul şi mierea şi deci le micşorează rezistenţa. Dar nu micşorează considerabil rezistenţa apei, cum s-ar întîmpla dacă o mare parte a rezistenţei apei ar proveni din frecarea sau tenacitatea părţilor sale. Prin urmare, rezistenţa apei se naşte în primul rînd şi aproape complet din *vis inertiae* a materiei sale; în consecinţă, dacă cerurile ar fi aşa de dense ca apa, ele nu ar avea o rezistenţă cu mult mai mică decît apa; dacă ar fi aşa de dense ca mercurul, n-ar avea o rezistenţă cu mult mai

* R. Boyle, *New expresiments, Physico-Mechanical touching the Spring, of the Air and its effects*, 1660.

mică decît mercurul; dacă ar fi absolut densă sau plină cu materie fără nici un *vacuum*, oricît de subtilă şi de fluidă ar fi această materie, ea ar avea o rezistenţă mai mare decît mercurul. O sferă solidă într-un astfel de mediu şi-ar pierde peste jumătate din mişcare, deplasîndu-se pe triplul lungimii diametrului său, iar o sferă care nu este solidă (cum sînt planetele) s-ar opri mai repede. Prin urmare, pentru a asigura mişcările regulate şi durabile ale planetelor şi ale cometelor este necesar ca cerurile să fie goale de orice materie, cu excepţia, probabil, a unor vapori rari, aburi sau efluvii care provin din atmosfera Pămîntului, planetelor şi cometelor şi dintr-un astfel de mediu eteric extrem de rar, aşa cum l-am descris mai sus. Un fluid dens nu poate fi de nici un folos la explicarea fenomenelor naturii, mişcările planetelor şi ale cometelor fiind mai bine explicate fără el. El nu serveşte decît să deranjeze şi să întîrzie mişcările acelor corpuri mari şi să facă să încetinească structura naturii, iar în porii corpurilor acest fluid serveşte numai să împiedice mişcările vibratorii ale părţilor lor, de care depinde căldura şi activitatea lor. În acest fel el nu este de nici un folos şi împiedică fenomenele naturii, făcîndu-le să întîrzie; de aceea, nefiind evidentă existenţa lui, trebuie respins. Dacă îl respingem, se înlătură şi ipotezele că lumina constă dintr-o presiune sau mişcare propagată printr-un astfel de mediu.

Pentru a respinge un astfel de mediu avem autoritatea acelor mai celebri filozofi antici ai *Greciei* şi *Feniciei*, care au pus *vacuum*-ul atomii şi greutatea atomilor drept primele principii ale filozofiei lor, atribuind în mod tacit greutatea unei alte cauze decît materia densă. Filozofii de mai tîrziu au eliminat consideraţia unor astfel de cauze din filozofia naturală, imaginînd ipoteze pentru explicarea mecanică a tuturor lucrurilor şi trimiterea celorlalte cauze la metafizică, în timp ce problema fundamentală a filozofiei naturale este să argumenteze prin fenomene fără ca să imagineze ipoteze şi să deducă cauzele din efecte pînă ce se ajunge la adevărata cauză primă, care desigur, nu este mecanică, şi nu numai să explice mecanismul naturii, ci mai ales să rezolve aceste chestiuni şi altele asemănătoare. Ce se află în spaţiul aproape gol de materie şi de ce Soarele şi planetele gravitează unele spre celelalte fără materie densă între ele? De unde rezultă că natura nu face nimic în zadar şi de unde se naşte acea ordine şi frumuseţe pe care o vedem în lume? Ce rost au cometele şi cum se face că toate planetele se mişcă într-unul şi acelaşi sens pe orbite concentrice, în timp ce cometele se mişcă în toate felurile pe orbite foarte excentrice. Ce opreşte stelele fixe să nu cadă unele peste altele? Cum au ajuns corpurile animale să fie alcătuite cu atîta artă şi ce scop au diferitele

lor părţi? Ochiul a fost compus fără nici o îndemînare în optică şi urechea fără nici o cunoaştere a sunetului? Cum rezultă mişcările corpului din voinţă şi de unde provine instinctul animalelor? Nu este *sensorium*-ul animalelor locul în care rezidă substanţa senzitivă şi la care se duc speciile sensibile ale lucrurilor prin nervi şi creier astfel că acolo ele pot fi percepute prin prezenţa lor imediată la această substanţă? Aceste lucuri fiind corect explicate din fenomene, nu rezultă că există o fiinţă necorporală, vie, inteligentă,omniprezentă, care în spaţiul infinit, ca şi cînd ar fi în *senzorium*-ul său, vede însuşi lucrurile în mod intim şi deci le percepe şi înţelege complet prin prezenţa lor imediată? Imaginile acestor lucruri transmise numai prin organele simţurilor în micile noastre *sensorium*-uri sînt acolo văzute şi contemplate de ceea ce în noi percepe şi gîndeşte. Şi cu toate că fiecare pas adevărat făcut în această filozofie nu ne duce imediat la cunoaşterea cauzei prime, totuşi, ne apropie tot mai mult de ea şi din acest motiv trebuie mult apreciată.

Problema 29. Nu sînt oare razele de lumină corpuri foarte mici emise de substanţele luminoase? Căci astfel de corpuri vor trece prin mediile uniforme în linii drepte fără a se curba în umbră, aşa cum este natura razelor de lumină. Ele vor avea diferite proprietăţi şi vor fi în stare să se conserve proprietăţile neschimbate la trecerea lor prin diverse medii, ceea ce este o altă condiţie a razelor de lumină. Substanţele transparente acţionează asupra razelor la distanţă, refractîndu-le curbîndu-le, iar razele agită reciproc părţile acelor substanţe la distanţă, încălzindu-le; această acţiune şi reacţiune la distanţă seamănă foarte mult cu forţa de atracţie dintre corpuri. Dacă refracţia este provocată de atracţia razelor, sinusurile de incidenţă trebuie să fie faţă de sinusurile de refracţie într-un raport dat, după cum am arătat în cartea noastră *Principii de filozofie**, această regulă este verificată de experienţă. Razele de lumină, ieşind din sticlă *in vacuum*, se curbează spre sticlă, iar dacă cad prea oblic pe *vacuum* sînt curbate înapoi în sticlă şi se reflectă total; această reflexie nu se poate atribui rezistenţei unui *vacuum* absolut, ci trebuie să fie cauzată de puterea cu care sticla atrage razele la trecerea lor din ea în *vacuum* şi le aduce înapoi. Dacă udăm ultima suprafaţă a sticlei cu apă sau cu ulei limpede ori cu miere lichidă şi clară, razele care altfel ar fi reflectate vor intra în apă, ulei sau miere şi deci nu se reflectă înainte de a ajunge la ultima suprafaţă a sticlei astfel să iasă din ea. Dacă razele ies din sticlă în apă, ulei sau miere, ele vor trece

* Cartea I, propoziţia XCIV.

mai departe, fiindcă atracţia sticlei este aproape echilibrată şi redusă la ineficacitatea de atracţia contrară a lichidului. Dacă însă ele intră *in vacuum*, care nu posedă nici o atracţie care să echilibreze atracţia sticlei, aceasta sau le curbează sau le refractă ori le aduce înapoi şi le reflectă. Faptul acesta este şi mai evident dacă alăturăm două sticle-obiectiv pentru telescoape foarte lungi, una plană, cealaltă puţin convexă, presîndu-le în aşa fel ca să nu se atingă complet, dar nici să nu fie prea depărtate una de alta. Într-adevăr, lumina care cade pe ultima suprafaţă a primei sticle, acolo unde intervalul dintre sticlă nu trece de o zecime de sutime de miime de inch, va trece prin acea suprafaţă şi prin *vacuum*-ul dintre sticle şi va intra în sticla a doua, după cum am explicat în observaţiile a 1-a, a 4-a şi a 8-a din partea întîi a cărţii a II-a. Dacă însă îndepărtăm sticla a doua, lumina care iese din suprafaţa a doua a primei sticle în aer sau *vacuum* nu va trece înainte, ci se va întoarce înapoi în prima sticlă şi se va reflecta; aşadar, prin puterea primei sticle lumina va fi întoarsă înapoi, nefiind altceva care s-o întoarcă. Pentru producerea tuturor varietăţilor de culori şi ale gradelor de refrangibilitate nu se cere decît ca razele de lumină să fie corpuri de diferite mărimi, dintre care cel mai mic să poată produce violetul, cea mai slabă şi mai întunecată dintre culori, şi să fie mai uşor deviate de suprafeţele refractatoare de la drumul drept; iar restul, cu cît sînt mai mari, să poată da culorile cele mai intense şi mai luminoase, albastru, verde, galben şi roşu, şi să poată fi tot mai dificil de deviat. Pentru a pune razele de lumină în accese de uşoară reflexie şi uşoară transmisie nu se cere decît ca ele să fie corpuri mici care prin puterile lor atractive sau vreo altă forţă să producă vibraţii acolo unde cad, iar aceste vibraţii, fiind mai rapide decît razele, le depăşesc succesiv şi le agită astfel că pe rînd le măresc sau le micşorează vitezele, aducîndu-le în acele accese. În sfîrşit, refracţia extraordinară în cristalul de Islanda prezintă în mare măsură aparenţa că ar fi produsă de un fel de dispoziţie sau forţă atractivă în anumite laturi atît ale razelor, cît şi ale cristalului. Dacă nu ar exista vreun fel de dispoziţie sau virtutea localizată în anumite laturi ale particulelor cristalului, iar în celelalte nu şi care înclină sau curbează razele spre laturile de refracţie extraordinară, razele care cad perpendicular pe cristal nu s-ar refracta mai repede spre o latură decît spre alta atît la incidenţa, cît şi la emergenţa lor, astfel încît razele ies perpendicular cînd există o situaţie contrară a laturii de refracţie extraordinară faţă de suprafaţa a doua, cristalul acţionînd asupra razelor după ce acestea

au trecut prin el şi ies în aer sau dacă vreţi, *in vacuum*. Deoarece această dispoziţie sau forţă a cristalului nu acţionează asupra razelor decît dacă una dintre laturile acestora este îndreptată spre latura de refracţie extraordinară a cristalului, aceasta dovedeşte existenţa unei forţe sau dispoziţii corespunzătoare în acele laturi ale razelor şi care simpatizează cu forţa sau dispoziţia cristalului, după cum polii a doi magneţi corespund unul altuia. Tot aşa cum magnetismul poate fi intensificat sau slăbit şi se află numai în magnet şi fier, la fel dispoziţia de a reflecta razele perpendiculare este mai mare în cristalul de Islanda, mai mică în cristalul de stîncă şi nu se întîlneşte de loc în alte corpuri; eu nu afirm că această dispoziţie ar fi magnetică; ea pare a fi de altă natură. Spun numai că, oricum ar fi, e dificil să concepem modul în care razele de lumină, dacă nu sînt corpuri, pot avea în două laturi ale lor o dispoziţie permanentă, pe care nu o au în celelalte laturi, şi aceasta fără nici o considerare a poziţiei lor în spaţiu sau în mediul prin care trec.

Din cele spuse în problemele a 18-a, a 19-a şi a 20-a se poate vedea ce înţeleg eu în această problemă prin *vacuum* şi prin atracţia razelor de lumină spre sticlă sau cristal.

Problema 30. Corpurile mari şi lumina nu se pot transforma unele în altele şi corpurile nu pot primi oare o parte însemnată din activitatea lor de la particulele de lumină care intră în compoziţia lor? Într-adevăr, toate corpurile fixe, fiind încălzite, emit lumină atîta timp cît continuă să fie suficient de calde şi invers, lumina se opreşte în corpuri de cîte ori razele ei lovesc părţile acestora, după cum am văzut mai sus. Nu cunosc nici un corp mai puţin capabil de a lumina decît apa, şi totuşi apa, prin distilări multiple, se transformă în pămînt solid, după cum a arătat d. Boyle. Acest pămînt, fiind în stare să suporte o căldură suficientă, luminează la căldură la fel ca celelalte corpuri.

Transformarea corpurilor în lumină şi a luminii în corpuri este cu totul conformă cu mersul naturii, care pare a se complace în transmutări. Apa, care este o sare foarte fluidă fără gust, se transformă prin căldură în vapori, care sînt un fel de aer, iar prin frig în gheaţă, care este o piatră dură, transparentă, sfărîmicioasă, fuzibilă, şi această piatră se preface iarăşi în apă prin căldură, iar vaporii se schimbă din nou în apă prin frig. Pămîntul prin căldură devine foc, iar prin frig devine iarăşi Pămînt. Corpurile dense se rarefiază prin fermentaţie în diverse feluri de aer, iar acest aer prin fermentaţie şi uneori fără ea se transformă din nou în corpuri dense. Mercu-

rul apare uneori sub formă de metal fluid, alteori sub formă de metal dur, sfărîmicios, alteori sub formă de sare corozivă transparentă, numită sublimat, alteori sub formă de pămînt alb, fără gust, transparent, volatil, numit *mercurius dulcis*, sau sub formă de pămînt roşu, opac, volatil, numit cinabru, sau sub aceea a unui precipitat roşu sau alb sau a unei sări fluide, iar prin distilare revine la forma de vapori, iar dacă este agitat *in vacuo*, străluceşte ca focul. După aceste schimbări se întoarce din nou la prima sa formă de mercur. Ouăle cresc de la o mărime insensibilă şi se transformă în animale, mormolocii în broaşte, iar viermii în muşte. Toate păsările, animalele şi peştii, insectele, arborii şi celelalte vegetale, cu diversele lor părţi, se dezvoltă din apă, soluţii apoase şi săruri, iar prin putrefacţie devin din nou substanţe apoase. Apa, stînd cîteva zile în aer liber, ia o culoare care (la fel cu a malţului) stînd mai mult produce un sediment şi un spirt, dar înainte de putrefacţie este o hrană bună pentru animale şi vegetale. Printre atîtea transmutări atît de variate şi de curioase, de ce să nu poată natura transforma corpurile în lumină şi lumina în corpuri?

Problema 31. Micile particule ale corpurilor nu au oare anumite puteri, însuşiri sau forţe prin care ele acţionează la distanţă nu numai asupra razelor de lumină pentru a le reflecta, refracta şi curba, ci şi una asupra celeilalte pentru a produce o mare parte din fenomenele naturii? Într-adevăr, este bine cunoscut faptul că corpurile acţionează unul asupra altuia prin atracţiile gravitaţiei, magnetismului şi electricităţii. Aceste exemple indică esenţa şi mersul naturii şi fac probabilă existenţa multor altor forţe de atracţie afară de acestea. Căci natura este foarte uniformă şi conformă cu ea însăşi. Nu analizez aici în ce fel se pot produce aceste atracţii. Ceea ce eu numesc atracţie se poate produce prin impuls sau prin alte mijloace necunoscute mie. Folosesc aici acest cuvînt numai pentru a desemna în general o forţă oarecare prin care corpurile tind unul spre altul, oricare ar fi cauza. Într-adevăr, noi trebuie să învăţăm din fenomenele naturii care corpuri se atrag reciproc şi care sînt legile şi proprietăţile atracţiei înainte de a cerceta cauzele din care ia naştere atracţia. Atracţiile gravitaţiei, magnetismului şi electricităţii se extind la distanţe detectabile şi de aceea au fost observate de ochiul omenesc, dar pot exista şi altele care acţionează la distanţe atît de mici încît pînă acum scapă observaţiei; probabil şi atracţia electrică acţionează la distanţe atît de mici chiar fără să fie provocată prin frecare.

Într-adevăr, atunci cînd sarea de tartru curge *per deliquium**, aceasta nu se datorește unei atracții dintre particulele sării de tartru și particulele de apă care plutesc în aer sub formă de vapori? De unde rezultă că sarea gemă, salpetrul sau vitriolul nu curg *per deliquium* decît din lipsa unei astfel de atracții? Sau de ce sarea de tartru nu absoarbe mai multă apă din aer decît într-un anumit raport cu cantitatea sa, dacă nu prin lipsa unei forțe atractive după ce s-a saturat cu apă? De unde rezultă, dacă nu din această forță atractivă, faptul că apa care distilează singură la o căldură moderată nu va distila din sarea de tartru fără o căldură mare? Nu există o forță atractivă asemănătoare între particulele de ulei de vitriol și particulele de apă care rezultă din faptul că uleiul de vitriol absoarbe o mare cantitate de apă din aer și după ce s-a saturat nu mai absoarbe și, distilîndu-l, eliberează foarte greu apa? Cînd apa și uleiul de vitriol sînt turnate succesiv în același vas, se încălzesc foarte tare prin amestec. Oare această căldură nu denotă o mare mișcare a particulelor din lichid? Această mișcare nu dovedește că particulele celor două lichide, amestecîndu-se, se unesc cu violență și, în consecință, se mișcă una spre alta cu o mișcare accelerată? Iar cînd *aqua fortis* sau spiritul de vitriol turnate peste pilitura de fier o dizolvă, dezvoltînd o mare căldură prin fierbere acestea nu sînt produse oare de mișcarea violentă a particulelor? Această mișcare nu dovedește că părțile acide ale lichidului se îndreaptă cu violență spre părțile metalului și intră cu forță în porii lui pînă ce pătrund între particulele sale exterioare și în masa principală a metalului și, înconjurînd acele particule, le detașează de masa principală și le pun în libertate, făcîndu-le să plutească în apă? Apoi, cînd particulele acide, care singure distilează cu căldură puțină, nu se separă de particulele metalului fără o căldură foarte mare, aceasta nu confirmă atracția dintre ele?

Cînd spirtul de vitriol turnat peste sarea gemă sau salpetru intră în fierbere cu sarea și se unește cu ea și prin distilare spirtul de sare gemă sau de salpetru se ridică cu mult mai ușor decît o făcea înainte, iar partea acidă a spirtului de vitriol rămîne la fund, aceasta nu dovedește că alcalinul solid al sării atrage spirtul acid al vitriolului mai intens decît spirtul său propriu și, nefiind în stare să le rețină pe amîndouă, îl eliberează pe al său propriu? Cînd uleiul de vitriol se amestecă cu o greutate egală de salpetru și din ambele ingrediente se distilează un spirt de azot compus și se toarnă două părți ale acestui spirt peste ulei de cuișoare sau de sămînță de chimion

* Prin umezire datorită faptului că este higroscopică.

sau de vreun alt ulei greu din substanțe animale sau vegetale ori ulei de terebentină îngroșat cu puțin balsam de sulf, lichidele se încălzesc atît de tare prin amestec încît dau imediat o flacără arzătoare, această căldură enormă și rapidă nu dovedește oare că cele două lichide se amestecă cu violență și că părțile lor, amestecîndu-se, se reped una spre cealaltă cu o mișcare accelerată și se izbesc cu o mare violență? Nu din aceeași cauză spirtul de vin rafinat turnat pe același spirt compus se aprinde și că *pulvis fulminans**, compus din sulf, salpetru și sare de tartru explodează mai rapid și mai violent decît praful de pușcă, spirturile acide de sulf și de salpetru repezindu-se unul spre altul și spre sarea de tartru cu o mare violență și prin ciocnire trecînd totul imediat în vapori și flacără? Cînd dizolvarea e înceată, ea produce o fierbere lentă și o căldură nu prea mare, cînd este mai rapidă produce o fierbere intensă cu mai multă căldură, iar cînd se întîmplă instantaneu fierberea produce un suflu brusc sau o explozie violentă, cu o căldură egală cu aceea a focului și a flăcării. Astfel, cînd un dram de spirt de salpetru compus, menționat mai sus, se turna peste o jumătate de dram de ulei de sămînță de chimion *in vacuo*, amestecul dădea imediat o fulgerare ca a prafului de pușcă și spărgea recipientul de sticlă lat de șase inch și înalt de opt inch. Chiar bucățile mari de sulf sfărîmate și transformate în pastă cu o greutate egală de pilitură de fier și puțină apă acționează asupra fierului și în cinci sau șase ore devine atît de caldă că nu poate fi atinsă cu mîna și produce o flacără. Comparînd aceste experiențe cu marea cantitate de sulf în care Pămîntul abundă și căldura părților interioare ale Pămîntului, izvoarele calde, vulcanii, gazele ce ies din mină, lumina minerală, cutremurele de pămînt, exalațiile calde sufocante, uraganele și trombele marine, putem constata că vaporii sulfuroși abundă în interiorul Pămîntului și fermentează cu mineralele și uneori se aprind cu o fulgerare bruscă și explozie, iar dacă sînt închise în caverne subterane sfărîmă cavernele, cutremurînd intens Pămîntul ca și cînd ar exploda o mină. Apoi vaporii produși de explozie, pătrunzînd prin porii Pămîntului, devin calzi și sufocanți și produc furtuni și uragane, iar uneori dau naștere la alunecări de teren sau la o răscolire a mării și împrăștie apa ei în picături, care în urma greutății lor cad din nou ca un torent. De asemenea unii vapori sulfuroși, ori de cîte ori aerul este uscat ridicîndu-se în aer, fermentează cu acidul azotic și uneori, luînd foc, cauzează fulgere și trăsnete și meteori

* Praf exploziv, praf de pușcă.

de foc. Aerul este plin cu acizi gata să susțină fermentațiile, dupăcum se vede la ruginirea fierului și a cuprului în aer, la aprinderea focului prin suflare și la bătaia inimii prin respirație. Mișcările sus-menționate sînt atît de mari și de violente, încît arată că în fermentații particulele corpurilor, care sînt aproape în repaus sînt supuse la noi mișcări printr-un principiu foarte puternic care acționează asupra lor numai cînd ele se apropie una de cealaltă și le face să se întîlnească și să se lovească cu mare violență, să se încălzească prin mișcare, să se spargă una pe alta în bucăți și să dispară în aer, vapori și flăcără.

Dacă sarea de tartru *per deliquium* este turnată în soluția unui metal, precipită metalul și-l face să se depună la fundul lichidului sub formă de nămol; aceasta nu dovedește că particulele acide sînt atrase mai intens de sarea de tartru decît de metal și printr-o atracție mai intensă trec de la metal la sarea de tartru? La fel cînd o soluție de fier în *aqua fortis* dizolvă *lapis calaminaris**, se eliberează fierul sau o soluție de cupru dizolvă fierul introdus în ea și eliberează cuprul ori o soluție de argint dizolvă cuprul și eliberează argintul sau o soluție de mercur în *aqua fortis*, fiind turnată peste fier, cupru, staniu sau plumb, dizolvă metalul și eliberează mercurul; nu dovedește aceasta că particulele acide de *aqua fortis* sînt atrase mai intens de *lapis calaminaris* decît de fier, mai intens de fier decît de cupru, mai intens de cupru decît de argint și mai intens de fier, cupru, staniu și plumb decît de mercur? Nu din același motiv necesită fierul mai multă *aqua fortis* ca să-l dizolve decît cuprul, iar cuprul mai mult decît celelalte metale și dintre toate metalele fierul se dizolvă mai ușor și ruginește cel mai repede, iar imediat după fier cuprul?

Cînd uleiul de vitriol se amestecă cu puțină apă sau a curs *per deliquium*, iar în distilare apa se ridică cu greu și antrenează cu ea cîteva părți din uleiul de vitriol sub formă de spirt de vitriol și acest spirt turnat peste fier, cupru sau sare de tartru se unește cu corpul și eliberează apa, aceasta nu arată că spirtul acid este atras de apă, dar este atras mai mult de corpul solid decît de apă și deci eliberează apa pentru a se uni cu corpul solid? Nu tot același este motivul pentru care apa și spirturile acide care sînt amestecate împreună cu oțet, *aqua fortis* și spirtul de sare se unesc și se ridică împreună în distilare, însă dacă se toarnă *menstruum*** peste sarea de tartru sau peste plumb ori fier sau vreun corp solid pe care-l poate dizolva, acidul, printr-o atracție mai intensă, aderă la corp și eliberează apa? Nu provine

* Silicat de acid de zinc.
** Dizolvant, solvent.

dintr-o atracţie reciprocă faptul că spirturile de sudoare* şi de sare marină se unesc şi compun particulele de sare de amoniac, care sînt mai puţin volatile decît mai înainte, fiindcă sînt mai mari şi mai libere de apă, că particulele de sare de amoniac în sublimare antrenează particulele de antimoniu care singure nu ar sublima, că particulele de mercur, unindu-se cu particulele acide de spirt de sare, compun mercurul sublimat, iar cu particulele de sulf compun cinabrul, iar particulele de spirt de vin şi spirt de urină bine rafinate se unesc şi, eliberînd apa care le dizolvă, compun un corp consistent şi că, prin sublimarea cinabrului din sarea de tartru sau din var nestins, sulful, printr-o atracţie mai intensă a sării sau a varului, eliberează mercurul şi rămîne corpul solid, iar dacă mercurul sublimat se sublimează din antimoniu sau din stibiu, spirtul de sare eliberează mercurul şi se uneşte cu antimoniu metalic care-l atrage mai tare şi rămîne cu el pînă ce căldura devine atît de mare încît le face să se ridice împreună şi atunci antrenează metalul cu el sub forma unei sări foarte fuzibile numite unt de antimoniu, deşi spirtul de sare singur este aproape tot atît de volatil ca şi apa, iar antimonul singur atît de solid ca plumbul?

Cînd *aqua fortis* dizolvă argintul şi nu aurul iar *aqua regia* ** dizolvă aurul şi nu argintul, nu se poate spune că *aqua fortis* este destul de subtilă pentru a pătrunde aurul tot atît de bine ca argintul, dar că îi lipseşte forţa atractivă pentru a-l penetra, la fel că *aqua regia* este destul de subtilă pentru a pătrunde argintul ca şi aurul, dar nu posedă forţa atractivă pentru a-l penetra? Într-adevăr, *aqua regia* nu e altceva decît *aqua fortis* amestecată cu spirt de sare sau cu sare de amoniac; chiar sarea gemă dizolvată în *aqua fortis* face ca *menstruum*-ul să dizolve aurul, deşi sarea este un corp solid. Prin urmare, cînd spirtul de sare precipită argint din *aqua fortis*, aceasta nu are loc prin atracţia şi amestecarea cu *aqua fortis* şi nu atrăgînd sau respingînd argintul? Cînd apa precipită antimoniul din sublimatul de antimoniu şi din sarea de amoniac sau din unt de antimoniu, aceasta nu se petrece prin dizolvarea lor, amestecul şi slăbirea sării de amoniac sau a spirtului de sare şi nu atrăgînd sau probabil, respingînd antimoniul? Nu din cauza lipsei de forţă de atracţie între părţile apei şi uleiului, ale argintului, ale plumbului şi ale fierului provine faptul că aceste substanţe nu se amestecă? Din cauza unei atracţii slabe mercurul şi cuprul se atrag cu greu, pe cînd din cauza unei atracţii intense mercurul şi staniul,

* Probabil în original *spirts of root.*
** Apă regală.

antimoniul și fierul, apa și sarea se amestecă cu ușurință? În general nu din cauza aceluiași principiu căldura unește corpurile omogene și separă pe ele eterogene?

Cînd arsenicul cu săpunul produce un *regulus*, iar cu sublimatul de mercur o sare volatilă fuzibilă la fel ca untul de antimoniu, aceasta nu arată că arsenicul, care este o substanță total volatilă, este compusă din părți solide și volatile, unite cu tărie printr-o atracție reciprocă, astfel încît părțile volatile nu se ridică fără să le tragă și pe cele solide? La fel cînd o greutate egală de spirt de vin și de ulei de vitriol fierb împreună și prin distilare produc două spirturi volatile și mirositoare care nu se amestecă între ele, iar pe fund rămîne un pămînt negru solid, aceasta nu arată că uleiul de vitriol este compus din părți volatile și solide strîns unite prin atracție, astfel încît se ridică împreună sub forma unei sări volatile acide și fluide pînă cînd spirtul de vin atrage și separă părțile volatile de cele fixe? Deoarece însă uleiul de sulf * *per campanam* ** este de aceeași natură cu uleiul de vitriol, nu se poate deduce că sulfatul este de asemenea un amestec de părți volatile și solide atît de coerente prin atracție, încît prin sublimare se ridică împreună. Dizolvînd flori de sulf în ulei de terebentină și distilînd soluția, s-a găsit că sulful este compus dintr-un ulei dens, inflamabil sau dintr-un bitumen gras, o sare acidă, un pămînt foarte solid și puțin metal. Primele trei sînt aproape egale între ele, al patrulea e în cantitate așa de mică, încît abia se poate lua în considerare. Sarea acidă dizolvată în apă este aceeași cu uleiul de sulf *per campanam* și se află din abundență în interiorul Pămîntului, în special în marcasite ***, ele însele fiind unite cu celelalte ingrediente de marcasită, care sînt bitumen, fier, cupru și pămînt și cu ele formează alaun, vitriol și sulf; numai cu pămînt formează alaun; numai cu metal sau cu metal împreună cu pămîntul dă naștere la vitriol, iar cu bitum și pămînt formează sulf. De aici provine faptul că marcasitele abundă în aceste trei minerale. Oare nu din atracția reciprocă a ingredientelor provine faptul că ele se unesc pentru a compune aceste minerale și că bitumenul antrenează celelalte ingrediente de sulf care fără el nu ar sublima? Aceeași întrebare se poate pune privitor la toate sau aproape la toate corpurile masive din natură. Căci toate

* *Oleum sulphuris*, amoniu de sulf supradistilat, preparat dintr-un amestec de salmiac, var și sulf.

** Sub clopot, adică sub vid.

*** Diferite minereuri de sulf.

părţile animalelor şi vegetalelor sînt compuse din substanţe volatile şi fixe, fluide şi solide, după cum reiese din analiza lor; la fel sînt sărurile şi mineralele în măsura în care chimiştii au fost în stare pînă acum să le examineze compoziţia.

Sublimatul de mercur resublimat cu mercur proaspăt se transformă în *mercurius dulcis* *, care este un pămînt alb fără gust, greu dizolvabil în apă, iar *mercurius dulcis* resublimat cu spirt de sare redevine sublimat de mercur; metalele corodate de puţin acid se transformă în rugină, care este un pămînt fără gust şi indisolubil în apă, şi acest pămînt îmbibat cu mai mult acid devine o sare metalică; unele pietre, ca spatul de plumb dizolvat în propriul său *menstruum*, se transformă în săruri. Aceste lucruri nu arată că sărurile sînt pămînturi uscate şi acizi apoşi unite prin atracţie şi că pămîntul nu se va transforma în sare fără o cantitate de acid suficientă pentru a-l face să se dizolve în apă? Gustul acru şi înţepător al acizilor nu provine de la atracţia intensă prin care particulele acide pătrund şi agită părticelele limbii? Iar cînd metalele se dizolvă în *menstrum*-uri acide şi acizii în combinaţie cu metalul acţionează în mod diferit, astfel încît compusul are un gust diferit cu mult mai puţin picant decît mai înainte, ba uneori chiar dulce, aceasta nu este din cauză că acizii aderă la părticelele metalice şi deci pierd mult din activitatea lor? Dacă acidul este în cantitate prea mică pentru a face ca compusul să se dizolve în apă, nu din cauza că aderă intens la metal devine inactiv şi-şi pierde gustul, iar compusul devine un pămînt fără gust? Căci astfel de substanţe, neputîndu-se dizolva în umiditatea limbii, nu acţionează asupra simţului gustului.

După cum gravitaţia face ca marea să se răspîndească spre părţile mai dense şi mai grele ale globului terestru, la fel atracţia poate face ca acidul apos să curgă în jurul părticelelor mai dense şi mai compacte ale pămîntului pentru a forma părticelele de sare. Altfel acidul nu ar juca rolul de mediu între pămînt şi apa naturală pentru a face ca sărurile să se dizolve în apă, nici sarea de tartru nu ar extrage uşor acidul din metalele dizolvate, nici metalele acidul din mercur. După cum pe marele glob al Pămîntului şi pe mări corpurile mai dense, în urma greutăţii lor, se cufundă în apă şi totdeauna caută să se coboare spre centrul globului, la fel în părticelele de sare materia mai densă totdeauna tinde să se apropie de centrul particulei, astfel că o particulă de sare poate fi comparată

* Calomel, clorură mercuroasă.

cu un haos, fiind densă, dură, uscată și pămîntoasă în centru și rară, moale, umedă și apoasă la suprafață. De aici se pare că sărurile sînt de natură durabilă, greu de distrus dacă nu se îndepărtează părțile apoase cu violență sau lăsîndu-le să pătrundă în porii centrului pămîntului datorită unei călduri nu prea mari de putrefacție, pînă ce pămîntul este dizolvat de apă, și se separă în părticele mai mici, care din cauza micimii lor fac ca compusul putred să apară de culoare neagră. De aici e probabil că rezultă și faptul că părțile animalelor și vegetalelor își păstrează diversele forme și-și asimilează hrana; hrana moale și umedă își schimbă ușor țesutul prin căldură și mișcare moderată pînă ce devine asemenea unui pămînt dens, dur, uscat și durabil în centrul fiecărei particule. Cînd însă hrana devine imposibil de asimilat sau pămîntul central devine prea slab pentru a-l asimila, mișcarea sfîrșește în confuzie, putrefacție și moarte.

Dacă o cantitate foarte mică de vreo sare sau de vitriol se dizolvă într-o cantitate mare de apă, particulele de sare sau de vitriol nu se duce la fund, cu toate că sînt specific mai grele decît apa, ci se vor difuza în mod egal în întreaga apă, încît o fac la fel de sărată sus ca și jos. Nu implică aceasta că părțile sării sau ale vitriolului se depărtează una de cealaltă și tind să se răspîndească și să se despartă cît le permite cantitatea de apă în care plutesc? Nu implică această tendință că ele au o forță repulsivă datorită căreia fug una de alta sau cel puțin că atrag mai intens apa decît se atrag una pe cealaltă? Căci, după cum se ridică în apă toate lucrurile care sînt mai puțin atrase decît apa de către forța gravitațională a Pămîntului, la fel toate particulele de sare care plutesc în apă și sînt mai puțin atrase decît apa de către orice particulă de sare trebuie să se depărteze de acea particulă și să facă loc apei care este atrasă mai mult.

Cînd un lichid sărat se vaporizează pînă la un strat subțire și este lăsat să se răcească, sarea formează figuri regulate, ceea ce dovedește că particulele de sare, înainte de a se uni, plutesc în lichid la distanțe egale așezate în șir și, în consecință, acționează reciproc cu o forță care la distanțe egale este egală, iar la distanțe inegale este inegală. Într-adevăr, printr-o astfel de forță ele se vor aranja uniform, iar fără ea vor pluti neregulat și se vor uni tot atît de neregulat. Deoarece particulele de cristal de Islanda acționează în același fel asupra razelor de lumină pentru a cauza refracția extraordinară, nu se poate presupune că la formarea acestui cristal particulele se aranjează în șir numai pentru a se uni în figuri regulate, ci, datorită unui fel de forță polară, își întorc laturile omogene în același chip?

Părţile tuturor corpurilor omogene dure care se ating complet între ele se ţin foarte strîns împreună. Pentru a explica cum se poate întîmpla acest lucru, unii au inventat atomi cu cîrlige, lăsînd problema fără răspuns, iar alţii spun că corpurile sînt lipite unul de altul prin repaus, adică printr-o calitate ocultă sau, mai bine, prin nimic; alţii spun că ele sînt unite prin mişcări concurente, adică printr-un repaus relativ între ele. Eu deduc din coeziunea lor mai degrabă că particulele lor se atrag reciproc cu o forţă care la contactul direct este extrem de intensă; la distanţe mici efectuează operaţiile chimice menţionate mai sus şi nu acţionează departe de particule cu vreun efect sensibil.

Toate corpurile par a fi compuse din particule dure, altfel fluidele nu ar congela. Astfel se întîmplă cu apa, uleiul, oţetul şi spirtul sau uleiul de vitriol prin îngheţare, mercurul prin fumul de plumb, spirtul de azot şi mercur prin dizolvarea mercurului şi evaporarea părţilor mucilaginoase, spirtul de vin şi spirtul de urină prin deshidratarea şi amestecul lor, iar sarea alcalină şi spirtul de sare prin sublimarea lor împreună pentru a da sare de amoniac. Chiar razele de lumină par să fie corpuri dure, căci altfel nu ar păstra proprietăţi diferite în diversele lor laturi. Prin urmare, duritatea poate fi considerată drept o proprietate a oricărei materii necompuse. Cel puţin aceasta pare a fi tot atît de evident ca penetrabilitatea universală a materiei. Într-adevăr, pe cît arată experienţa, toate corpurile sau sînt dure, sau pot fi făcute dure, şi nu avem nici o altă evidenţă despre impenetrabilitatea universală decît o largă experienţă fără nici o excepţie experimentală. Dacă însă corpurile compuse sînt tot atît de dure, după cum constatăm că sînt unele dintre ele, şi în acelaşi timp foarte poroase şi constau din părţi care sînt numai aşezate una lîngă alta, particulele simple care sînt lipsite de pori şi nu au fost niciodată divizate trebuie să fie cu mult mai dure. Căci astfel de particule îngrămădite laolaltă nu se pot atinge decît în cîteva puncte şi deci trebuie să fie separabile printr-o forţă cu mult mai mică decît se cere pentru a sfărîma o particulă solidă, ale cărei părţi se ating în tot spaţiul dintre ele fără ca porii sau interstiţiile să le slăbească coeziunea. Este foarte greu de conceput în ce fel astfel de particule, care sînt numai aşezate împreună şi se ating numai în cîteva puncte, se pot ţine împreună, şi aceasta cu tăria cu care o fac fără ajutorul vreunei cauze care să le facă să se atragă sau să se preseze una spre alta.

Aceeaşi concluzie o trag eu atît din coeziunea a două plăci de marmură lustruite *in vacuo* cît şi din faptul că mercurul rămîne sus-

pendat în barometru la înălţimea de 50,60 sau 70 inch sau mai sus, chiar dacă este bine curăţat de aer şi turnat în el cu grijă, astfel că toate părţile lui sînt strîns învecinate atît una cu alta, cît şi cu sticla. Atmosfera, datorită greutăţii ei, presează mercurul în tubul de sticlă pînă la înălţimea de 29 sau 30 inch. Alţi agenţi însă îl ridică mai sus, nu presîndu-l în tub, ci făcînd ca părţile sale să adere la sticlă şi să se ataşeze una de alta. Producîndu-se orice discontinuitate a părţilor, cauzată fie de bule, fie de scuturarea tubului, tot mercurul curge jos pînă la înălţimea de 29 sau 30 inch.

De acelaşi fel cu aceste experienţe sînt şi cele ce urmează. Dacă două plăci de sticlă plane lustruite (de exemplu două bucăţi de oglindă şlefuită) se pun laolaltă, astfel ca feţele lor să fie paralele şi la o distanţă foarte mică una de cealaltă, iar apoi muchiile lor de jos se cufundă în apă, apa se va urca între ele. Cu cît este mai mică distanţa dintre sticle, cu atît va fi mai mare înălţimea pînă la care se va ridica apa. Dacă distanţa este de vreo sutime de inch, apa se va ridica pînă la înălţimea de aproximativ un inch, iar dacă distanţa va fi mai mare sau mai mică în vreun raport oarecare, înălţimea va fi foarte aproximativ invers proporţională cu distanţa. Într-adevăr forţa de atracţie a sticlelor este aceeaşi, indiferent dacă distanţa dintre ele este mai mare sau mai mică, iar greutatea apei trasă în sus este aceeaşi dacă înălţimea ei este invers proporţională cu distanţa dintre sticle. În acelaşi fel, apa se ridică între două plăci de marmură lustruită cînd feţele ei netede sînt paralele şi la o distanţă foarte mică una de alta. Iar dacă cufundăm tuburi subţiri de sticlă cu un capăt în apă liniştită, apa se va urca în interiorul tubului, iar înălţimea la care se ridică va fi invers proporţională cu diametrul cavităţii tubului şi va fi egală cu înălţimea la care se ridică între două plăci de sticlă dacă semidiametrul cavităţii tubului este egal sau aproape egal cu distanţa dintre plăci. Aceste experienţe reuşesc la fel *in vacuo* ca şi în aer liber (după cum s-a demonstrat în faţa Societăţii Regale) şi, în consecinţă, nu sînt influenţate de greutatea sau de presiunea atmosferei.

Dacă un tub larg de sticlă se umple cu cenuşă cernută bine şi presată în sticlă şi un capăt al tubului se cufundă în apă liniştită, apa se va urca încet în cenuşă, astfel că într-o săptămînă sau două ajunge în interiorul sticlei pînă la înălţimea de 30 sau 40 inch deasupra nivelului apei. Apa se ridică la această înălţime sub acţiunea numai a acelor particule de cenuşă care se află la suprafaţa apei ridicate, particulele din apă atrăgînd-o sau respingînd-o în aceeaşi

măsură în jos ca și în sus. Prin urmare, acțiunea particulelor este foarte intensă. Dar particulele de cenușă nefiind atît de dense și de strînse laolaltă ca cele de sticlă, acțiunea lor nu e atît de intensă ca aceea a sticlei, care ține suspendat mercurul la înălțimea de 60 sau 70 inch, și deci acționează cu o forță care ar ține apa suspendată la o înălțime de peste 70 de picioare.

Potrivit aceluiași principiu, un burete absoarbe apa, iar glandele în corpurile animalelor, după naturile și dispozițiile lor diferite, absorb diverse sucuri din sînge.

Două plăci de sticlă plane paralele late de trei sau patru inch și lungi de 20 sau 25 inch sînt așezate una paralel cu orizontul, iar cealaltă peste cea dintîi, astfel ca una dintre extremitățile lor să se atingă și să formeze un unghi de vreo 10 sau 15 minute. Mai întîi udăm fețele interioare cu o cîrpă curată muiată în ulei de portocală sau în spirt de terebentină; o picătură sau două de ulei sau de spirt cad pe sticla de jos la cealaltă extremitate. Îndată ce sticla de sus se așază peste cea de jos în așa fel ca să o atingă ca mai sus și să atingă picătura de la celălalt capăt, făcînd cu sticla de jos un unghi de vreo 10 sau 15 minute, picătura va începe să se miște spre locul de contact al celor două sticle și va continua să se miște cu o mișcare accelerată pînă ce va ajunge la locul de contact al sticlelor. Căci cele două sticle atrag picătura și o fac să alerge spre partea către care înclină atracția. Dacă atunci cînd picătura este în mișcare ridicați acel capăt al sticlelor în care se întîlnesc și spre care se mișcă picătura, aceasta se va urca între sticle și deci este atrasă. După cum ridicați sticlele din ce în ce mai mult, picătura se va urca tot mai încet și, în fine se oprește, fiind atunci trasă în jos de greutatea sa și în aceeași măsură în sus de atracție. Prin acest mijloc puteți cunoaște forța cu care e atrasă picătura la toate distanțele de la întîlnirea sticlelor.

Prin mai multe experiențe de acest gen (făcute de d. Hauksbee) s-a găsit că atracția este aproape invers proporțională cu pătratul distanței mijlocului picăturii de la locul de contact al sticlelor. Este invers proporțională din cauza răspîndirii picăturii și a faptului că ea atinge fiecare sticlă pe o suprafață mai mare și din cauza atracțiilor care devin mai intense pentru aceeași cantitate de suprafață ce atrage. Prin urmare, atracția pentru aceeași cantitate de suprafață care atrage este invers proporțională cu distanța dintre sticle. Deci, acolo unde distanța este extrem de mică, atracția trebuie să fie extraordinar de mare. În tabela din partea a II-a, a cărții a II-a, unde se arată grosimile lamelor colorate de apă dintre două sticle, grosimea lamelei unde ea apare foarte neagră este de 3/8 000 000 inch. Cînd uleiul

de portocale dintre sticle are această grosime, atracția dedusă din regula precedentă pare să fie atît de intensă, încît la un cerc cu diametrul de un inch este suficientă să susțină o greutate egală cu a unui cilindru de apă de un inch diametru și cu o lungime de trei *furlongs**. Cînd grosimea ei este mai mică, atracția poate fi corespunzător mai mare și continuă să crească pînă ce grosimea ei nu depășește grosimea unei singure particule de ulei. În consecință, există în natură agenți capabili să unească particulele corpurilor prin atracții foarte intense și revine filozofiei experimentale sarcina să-i descopere.

Particulele cele mai mici de materie se pot uni prin atracțiile cele mai intense și pot compune particule mai mari dar mai slabe, iar unele dintre ele se pot uni și compune particule mai mari și mai slabe și așa mai departe în diverse succesiuni pînă ce progresia se termină în particulele cele mai mari, de care depind operațiile în chimie și culorile corpurilor naturale și care prin coeziune compun corpuri de mărime observabilă. Dacă corpul e compact și se îndoaie sau cedează în interior la presiune fără vreo alunecare a părților sale, el este dur și elastic, reluîndu-și forma cu o forță născută din atracția mutuală a părților sale. Dacă părțile alunecă una peste alta, corpul e maleabil sau moale. Dacă ele alunecă ușor și au o mărime potrivită pentru a fi agitate de căldură, iar căldura e destul de mare pentru a le menține în agitație, corpul este fluid și, dacă este capabil să se atașeze la alte corpuri, este umed, iar picăturile tuturor fluidelor iau o formă rotundă din cauza atracției reciproce a părților lor, după cum globul Pămîntului și marea formează o figură rotundă în urma atracției reciproce a părților lor prin gravitație.

Deoarece metalele dizolvate în acizi atrag numai o cantitate mică de acid, forța lor de atracție nu poate ajunge decît la o mică distanță de ele. După cum în algebră, acolo unde dispar și încetează cantitățile pozitive încep cele negative, la fel în mecanică, unde încetează atracția, trebuie să urmeze o forță repulsivă. Existența unei astfel de forțe pare să rezulte din reflexiile și inflexiunile razelor de lumină. Căci razele sînt respinse de corpuri în amîndouă aceste cazuri, fără contactul imediat al corpului care produce reflexia sau inflexia. Aceasta pare să rezulte și din emisia luminii; raza de lumină, îndată ce este emisă de un corp luminos prin mișcarea vibratorie a părților corpului și ajunge dincolo de sfera de atracție, este împinsă cu o viteză excesiv de mare. Forța suficientă s-o întoarcă înapoi în reflexie poate fi suficientă și s-o emită. Aceasta pare să urmeze și din

* 1 furlong = 201,16m (veche măsură englezească).

producerea aerului şi a vaporilor. Cînd particulele sînt emise de corpuri prin căldură şi fermentaţie, îndată ce ele ies din domeniul de atracţie al corpului se îndepărtează de el şi unele de altele cu mare putere şi tind spre o astfel de distanţă, încît uneori ocupă un spaţiu de peste un milion de ori mai mare decît acela pe care-l ocupau mai înainte sub forma unui corp dens. Această contracţie şi expansiune enormă par de neînţeles dacă ne imaginăm particulele de aer elastice şi rămuroase sau ca nişte nuiele înfăşurate în cerc, sau sub orice altă formă decît ca forţă repulsivă. Particulele de fluid care nu sînt legate prea tare şi care sînt atît de mici încît sînt susceptibile la agitaţiile de care depinde fluiditatea lichidelor se separă şi se rarefiază mai uşor în vapori, adică în limbajul chimiştilor sînt volatile, rarefiindu-se la o căldură nu prea mare şi condensîndu-se la frig. Acelea însă care sînt mai mari şi astfel mai puţin susceptibile la agitaţie sau sînt unite printr-o atracţie mai intensă nu se separă decît la o căldură mai mare sau probabil numai prin fermentaţie. Acestea din urmă sînt corpurile pe care chimiştii le numesc solide şi, fiind rarefiate prin fermentaţie, devin adevărat aer permanent; aceste particule, îndepărtîndu-se una de alta cu cea mai mare forţă, sînt foarte greu de unit, dar prin contact devin foarte coerente. Fiindcă particulele aerului permanent sînt mai mari şi provin din substanţe mai dense decît ale vaporilor, aerul adevărat este mai greu decît vaporii şi o atmosferă umedă este mai uşoară decît cea uscată. Din cauza aceleiaşi puteri repulsive se pare că muştele se plimbă pe apă fără să-şi ude picioarele, sticlele-obiectiv ale telescoapelor lungi stau una peste alta fără a se atinge, pulberile uscate sînt greu de adus în contact între ele astfel ca să se unească decît topindu-le sau udîndu-le cu apă, care, evaporîndu-se, le poate uni, şi două plăci de marmură lustruită care aderă prin contact imediat sînt astfel greu de adus în contact aşa încît să adere.

În acest fel, natura va fi foarte conformă cu ea însăşi şi foarte simplă, efectuînd toate mişcările mari ale corpurilor grele prin atracţia gravitaţională care acţionează aceste corpuri şi aproape toate mişcările mici ale particulelor lor prin diferite alte puteri atractive sau repulsive care acţionează particulele. *Vis inertiae* este un principiu pasiv prin care corpurile presistă în mişcarea sau repausul lor, primesc mişcarea proporţional cu forţa ce li se imprimă şi rezistă în măsura în care li se rezistă. Datorită acestui singur principiu, nu s-ar fi produs niciodată vreo mişcare în lume. Era necesar un alt principiu pentru a pune corpurile în mişcare, şi pentru că ele sînt în mişcare este necesar un alt principiu care să conserve mişcarea. Într-adevăr,

din compunerea diferită a două mişcări este sigur că nu totdeauna există aceeaşi cantitate de mişcare în lume. Dacă două sfere unite printr-o vergea subţire se rotesc în jurul centrului lor comun de greutate cu o mişcare uniformă, în timp ce centrul se mişcă uniform pe o linie dreaptă trasată în planul mişcării lor circulare, suma mişcărilor celor două sfere, ori de cîte ori sferele sînt în linie dreaptă descrisă de centrul lor comun de greutate, va fi mai mare decît suma mişcărilor lor cînd ele se află pe o linie perpendiculară pe acea dreaptă. Din acest exemplu se vede că mişcarea se poate cîştiga sau pierde. Dar din cauza tenacităţii fluidelor, a frecării părţilor lor şi a slabei elasticităţi a solidelor, mişcarea este cu mult mai posibil să se piardă decît să fie cîştigată şi ea întotdeauna scade. Corpurile care sînt fie absolut dure, fie atît de moi încît sînt lipsite de elasticitate nu se vor ciocni unul de altul. Impenetrabilitatea le face numai să se oprească. Dacă două corpuri egale se întîlnesc direct *in vacuo*, potrivit legilor mişcării, se vor opri unde se întîlnesc, îşi vor pierde toată mişcarea şi vor rămîne în repaus dacă nu sînt cumva elastice şi primesc o nouă mişcare de la elasticitatea lor. Dacă au elasticitate suficientă care le face să sară înapoi cu un sfert, o jumătate sau trei sferturi din forţa cu care s-au ciocnit, ele îşi vor pierde trei sferturi, jumătate sau un sfert din mişcarea lor. Aceasta se poate verifica lăsînd să cadă de la înălţimi egale în sensuri opuse două pendule egale. Dacă pendulele sînt din plumb sau din argilă moale, ele îşi vor pierde întreaga sau aproape întreaga mişcare. Dacă sînt din material elastic, îşi vor pierde toată mişcarea, cu excepţia celei care provine din elasticitate. Dacă se zice că ele nu pot pierde altă mişcare decît aceea pe care o comunică altor corpuri, consecinţa este că *in vacuo* nu pot pierde nici o mişcare, iar atunci cînd se întîlnesc trebuie să continue să înainteze şi să pătrundă unul în celălalt. Dacă umplem trei vase egale rotunde, unul cu apă, celălalt cu ulei, al treilea cu smoală topită, şi le agităm la fel pentru a le da o mişcare de rotaţie, smoala îşi va pierde repede mişcarea datorită durităţii sale, uleiul, fiind mai puţin dur, o va menţine mai îndelung, pe cînd apa, fiind şi mai puţin dură, o va menţine şi mai mult, totuşi o va pierde în scurtă vreme. De aici e uşor de înţeles că, dacă mai multe vîrtejuri vecine de smoală topită ar fi fiecare atît de mare ca acelea pe care unii presupun că se învîrtesc în jurul Soarelui şi al stelelor fixe, totuşi aceste vîrtejuri şi toate părţile lor îşi vor comunica, datorită durităţii şi rigidităţii lor, mişcările pînă ce toate vor ajunge în repaus. Vîrtejurile de ulei sau apă, ori de alte materii fluide îşi pot continua mişcarea mai îndelung; dar dacă materia ar fi lipsită de orice duritate, frecare a părţilor şi comunicare a mişcărilor

(ceea ce nu se poate presupune), mişcarea ar slăbi încontinuu. Văzînd aşadar, că varietatea mişcărilor pe care le întîlnim în lume este în continuă descreştere, este necesar ca ele să se conserve şi să se reînnoiască prin principii active, cum este cauza gravitaţiei, prin care plantele şi cometele îşi menţin mişcările pe orbite, iar corpurile capătă o mişcare rapidă în cădere; apoi cauza fermentaţiei, prin care inima şi sîngele animalelor sînt menţinute în mişcare şi în căldură perpetuă; părţile interioare ale Pămîntului sînt permanent încălzite, iar în anumite locuri se încălzesc chiar foarte mult; corpurile ard şi luminează, munţii emit flacări, cavernele Pămîntului sînt împinse în sus, iar Soarele continuă cu violenţă să fie cald şi strălucitor şi încălzeşte toate lucrurile prin lumina sa. Întîlnim foarte puţină mişcare în lume afară de cea datorită acestor principii active. Fără aceste principii, corpurile Pămîntului, planetelor, cometelor, Soarelui şi toate lucrurile din ele s-ar răci şi îngheţa şi ar deveni mase inactive; orice putrefacţie, generare, vegetaţie şi viaţă ar înceta, iar planetele şi cometele nu ar rămîne pe orbitele lor.

Considerînd toate acestea, mi se pare probabil că Dumnezeu la început a format materia din particule solide, masive, dure, impenetrabile, mobile, cu astfel de mărimi şi figuri şi cu astfel de alte proprietăţi şi în astfel de proporţie cu spaţiul ca să convină mai bine scopului pentru care le-a format şi că aceste particule primitive, fiind solide, sînt incomparabil mai dure decît orice corp poros compus din ele; chiar aşa de dure, încît niciodată nu se uzează sau sfărîmă în bucăţi, nici o putere obişnuită nu e în stare să dividă ceea ce însuşi Dumnezeu a făcut în prima creaţie. În timp ce particulele rămîn întregi, ele pot compune corpuri de una şi aceeaşi natură şi textură în toate epocile; dacă însă se uzează şi se prefac în bucăţi, natura lucrurilor, depinzînd de ele, se va schimba. Apa şi pămîntul compuse din particule vechi uzate şi din fragmente de particule nu vor fi acum de aceeaşi natură şi textură cu apa şi pămîntul compuse din particule întregi ca la început. Prin urmare, pentru ca natura să fie durabilă, schimbările lucrurilor corporale trebuie să constea numai în separări variate, în asocieri şi mişcări noi ale acestor particule permanente, corpurile compuse fiind capabile să se rupă nu în mijlocul particulelor solide, ci acolo unde acele particule sînt aşezate laolaltă şi se ating numai în cîteva puncte.

Mi se pare apoi că aceste particule nu au numai o *vis inertiae* însoţită de o astfel de lege pasivă a mişcării cum rezultă în mod natural din acea forţă, ci şi că ele se mişcă datorită unor principii active, cum este al gravitaţiei şi cel care cauzează fermentaţia şi coeziunea

corpurilor. Eu nu consider aceste principii drept calități oculte, presupuse a rezulta din formele specifice ale lucrurilor, ci ca legi generale ale naturii, prin care sînt formate înseși lucrurile, adevărul lor apărîndu-ne din fenomene, deși cauzele lor nu sînt încă descoperite. Acestea sînt calități evidente și numai cauzele lor sînt oculte. *Aristotelienii* au dat numele de calități oculte nu calităților evidente, ci numai acelora despre care presupuneau că există ascunse în corpuri și sînt cauzele necunoscute ale efectelor manifestate, cum ar fi cauzele gravitației, ale atracțiilor magnetice și electrice și ale fermentațiilor dacă am presupune că aceste forțe sau acțiuni provin din calități necunoscute nouă și imposibil de a fi descoperite și puse în evidență. Astfel de calități oculte împiedică progresul filozofiei naturale și, în consecință, în ultimii ani au fost înlăturate. A ni se spune că fiecare specie de lucruri este înzestrată cu o calitate ocultă specifică prin care ea acționează și produce efecte evidente înseamnă a nu ni se spune nimic; dar a deduce două sau trei principii generale ale mișcării din fenomene și apoi a ne spune în ce fel rezultă proprietățile și acțiunile tuturor lucrurilor corporale din acele principii evidente, aceasta ar fi un mare pas în filozofie, deși cauzele acelor principii încă nu s-au descoperit. În consecință eu nu șovăi de a propune principiile mișcării menționate mai sus, ele fiind de o extindere foarte generală, și las în seama altora să le descopere cauzele.

Cu ajutorul acestor principii, toate lucrările materiale par a fi fost compuse din particulele dure și solide menționate mai sus, asociate în mod variat în prima creație după planul unui agent inteligent. Căci cel care le-a creat trebuia să le pună în ordine. Iar dacă a făcut așa este nefilozofic să căutăm o altă origine a lumii sau să pretindem că ea se poate naște dintr-un haos numai prin legile naturii, cu toate că, odată formată, ea își poate continua existența prin aceste legi epoci de-a rîndul. Într-adevăr, deoarece cometele se mișcă pe orbite foarte excentrice în toate direcțiile, destinul orb nu va putea face niciodată ca toate planetele să se miște în același sens pe orbite concentrice, cu excepția unor iregularități neînsemnate ce s-au putut ivi în urma unor acțiuni reciproce ale cometelor și planetelor și care sînt în stare să crească pînă cînd sistemul va trebui să fie reformat. O astfel de uniformitate minunată în sistemul planetar trebuie atribuită efectului alegerii. Același lucru trebuie spus despre uniformitatea din corpurile animalelor, aceasta avînd în general o latură dreaptă și una stîngă formate la fel și de fiecare latură a corpului lor două picioare dinapoi și sau două brațe, sau două picioare sau două aripi dinainte pe umeri, iar între umeri un gît ce se continuă în jos prin șira spinării și deasu-

pra lui este capul, iar în cap două urechi, doi ochi, un nas, o gură și o limbă așezată în același chip. La fel este prima formație a părților foarte delicate ale animalelor, ca ochii, urechile, creierul, mușchii, inima, plămînii, diafragma, glandele, laringele, mîinile, aripile, bășica de înotat, ochelarii naturali și alte organe ale simțului și mișcării,iar instinctul brutelor și insectelor nu poate fi altceva decît efectul înțelepciunii și inteligenței unui agent puternic veșnic viu, care, fiind pretutindeni este mai capabil să miște prin voința sa corpurile în interiorul *sensorium-lui* său uniform nemărginit și deci să formeze și să reformeze părțile universului decît sîntem în stare să mișcăm prin voința noastră părțile propriului nostru corp. Totuși nu trebuie să considerăm lumea drept corpul lui Dumnezeu sau diversele ei părți drept părți ale lui Dumnezeu. El este o ființă uniformă, lipsit de organe, membre sau părți, și acestea sînt creaturile sale subordonate lui și depinzînd de voința lui; el nu este mai mult sufletul lor decît este sufletul omului, speciilor lucrurilor duse de organele simțului în locul senzației lor, unde le percepe prin prezența lor imediată, fără intervenția unui al treilea lucru. Organele simțului nu servesc de a pune sufletul în stare să perceapă speciile lucrurilor în *sensorium*-ul său, ci numai la a le conduce acolo, iar Dumnezeu nu are trebuință de astfel de organe, fiindcă este pretutindeni prezent lucrurilor înseși. Fiindcă spațiul e divizibil *in infinitum*, iar materia nu se află în mod necesar în toate locurile, putem admite de asemenea că Dumnezeu este capabil să creeze particule de materie de diverse mărimi și figuri și în diverse cantități în spațiu și probabil de diferite cantități și forțe și deci să varieze legile naturii și să facă lumi de diverse feluri în diferitele părți ale universului. În fine, eu nu văd în toate acestea nici o contradicție.

În filozofia naturală, la fel ca în matematică, investigarea lucrurilor dificile prin metoda analitică trebuie să preceadă metoda sintetică. Analiza constă în a face experiențe și observații și a trage din ele prin inducție concluzii generale și a nu admite nici o obiecție împotriva concluziilor decît dacă sînt luate din experiență sau alte adevăruri sigure. Ipotezele nu trebuie luate în considerare în filozofia experimentală. Cu toate că argumentele scoase prin inducție din experiențe și observații nu sînt demonstrații ale concluziilor generale, totuși este metoda cea mai bună de argumentare pe care o admite natura lucrurilor și poate fi considerată cu atît mai riguroasă cu cît inducția este mai generală. Iar dacă din fenomene nu rezultă nici o excepție, concluzia poate fi enunțată în general. Dacă însă cu timpul se ivește vreo excepție din experiențe, enunțarea se poate

face cu excepţiile care intervin. Prin acest mod de analiză putem proceda de la compus la simplu şi de la mişcare la forţele care o produc şi, în general, de la efecte la cauzele lor, iar de la cauzele particulare la cele mai generale pînă ce argumentaţia devine cea mai generală. Aceasta este metoda analitică, iar cea sintetică constă în a admite cauzele descoperite şi stabilite ca principii şi cu ajutorul lor a explica fenomenele ce provin din ele şi a demonstra explicaţiile.

În primele două cărţi ale acestei *Optici* am procedat prin analiză la descoperirea şi la demonstrarea deosebirilor originale ale razelor de lumină privitoare la refrangibilitate, reflexibilitate şi culoare şi la alternativele accese de uşoară reflexie şi uşoară transmisie, la proprietăţile corpurilor, atît opace, cît şi transparente, de care depind reflexiile şi culorile lor. Aceste descoperiri fiind dovedite, se poate adopta metoda sintetică la explicarea fenomenelor ce decurg din ele. Un exemplu al acestei metode l-am dat la sfîrşitul cărţii întîi. În această a treia carte am început numai să analizez ceea ce rămîne de descoperit privitor la lumină şi efectele ei asupra corpurilor naturale, sugerînd anumite lucruri în această privinţă şi lăsînd ca sugestiile să fie examinate şi perfecţionate prin observaţii ulterioare de către doritorii de a şti. Dacă prin această metodă filozofia naturală, în fine, se va perfecţiona în toate părţile sale, hotarele filozofiei morale de asemenea se vor lărgi. Într-adevăr, în măsura în care putem cunoaşte prin filozofia naturală care este cauza primă, ce putere are ea asupra noastră şi ce binefaceri primim de la ea, în aceeaşi măsură ne va apărea prin lumina naturii datoria noastră faţă de ea, ca şi a unora faţă de alţii. Nu încape îndoială că, dacă cultul falşilor zei nu i-ar fi orbit pe păgîni, filozofia lor morală ar fi progresat dincolo de cele patru virtuţi cardinale şi, în loc să înveţe transmigraţia sufletelor şi să se închine la Soare şi la Lună şi la eroii decedaţi, ne-ar fi învăţat să ne închinăm la adevăratul autor şi binefăcător al nostru, după cum au făcut strămoşii lor sub domnia lui *Noah* şi fiul său înainte de a se fi corupt.

Redactor: RODICA NEGULESCU
Tehnoredactor: SONIA BÂRZEANU

Bun de tipar 21. 03. 1970. Hîrtia scris I A, format 16/61×86, de 80 G/m². Coli de tipar 15,75. Planşe 6 tipo. C. Z. pentru biblioteci mari 535(021) = 59. C. Z. pentru biblioteci mici 535.

Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23—25.
Republica Socialistă România



